
I. *Ueber das Bildungsgesetz der Lichtenberg'schen Figuren; von Wilhelm von Bezold.*

Trotz der verschiedenen Untersuchungen, welche über die sogenannten Lichtenberg'schen Figuren sowohl von deren Entdecker selbst, als auch von de Luc, Riefs, Reitlinger, v. Waltenhofen und Anderen ausgeführt wurden, liegt nicht nur die eigentliche Erklärung ihrer Entstehung noch vollkommen im Dunkeln, sondern es sind auch die Umstände, welche ihre Gröfse und unendlich mannichfaltigen Gestalten bedingen, noch gänzlich unerforscht.

Seitdem ich damit begonnen habe, diese Figuren als Prüfungsmittel für die elektrische Entladung zu benutzen, trat die Forderung unabweisbar an mich heran, diese Abhängigkeit einer eingehenden Untersuchung zu unterwerfen. Mufs man doch vor Allem das Instrument kennen, mit welchem man arbeiten will.

Dieser Gesichtspunkt war es, welcher mich bei der vorliegenden Untersuchung zunächst leitete. Mein Hauptaugenmerk war deshalb darauf gerichtet, die Abhängigkeit der Gröfse und der auffallendsten Formverschiedenheiten von der Beschaffenheit der Probeplatte, von der Menge und der Spannung der angewandten Elektrizität zu erforschen. Den Gedanken, eine Erklärung der merkwürdigen Formverschiedenheiten zu finden, welche diese Figuren je nach der Elektrizität zeigen, der sie ihre Entstehung verdanken, diesen Gedanken hatte ich zuerst vollständig bei Seite ge-

schoben, da meine Hoffnung auf Lösung dieses Problemes nur sehr schwach war.

Im Verlaufe der Untersuchung erwies es sich jedoch als ganz unthunlich, die Hauptfrage über die Entstehung der Figuren ganz aufser Acht zu lassen. Unwillkürlich drängten sich verschiedene Versuche auf, welche mit ihr im Zusammenhange stehen, und so wurde ich unabsichtlich dahingeführt, einerseits die bisher aufgestellten Hypothesen zu prüfen, andererseits eine neue an deren Stelle zu setzen. Während demnach die ersten der folgenden Paragraphen den oben bezeichneten Untersuchungen gewidmet sind, soll in den späteren dieser letztere Gegenstand behandelt werden.

Was die Anstellung der Versuche im Allgemeinen betrifft, so diente als Elektrizitätsquelle eine kleine alte Scheibenelektrirmaschine, welche sowohl die Ansammlung von positiver als auch von negativer Elektrizität gestattete.

Als Probeplatte wurde, wenn nicht ausdrücklich das Gegentheil erwähnt ist, Tafeln von Ebonit¹⁾ verwendet, da man auf ihnen die Figuren sehr schön erhält und sie leicht abdrucken kann, ohne die Oberfläche der Platte so sehr zu verändern, als dies bei einer Harzfläche der Fall ist. Uebrigens sind auch die Ebonitplatten bedeutenden Oberflächenveränderungen unterworfen, und es ist mir unmöglich Mittel anzugeben, welche dieselben ganz sicher in brauchbaren Stand versetzen. Ich mußte mich im Verlaufe der Untersuchung stets anderer Putzmittel bedienen. Bei ganz neuen Tafeln war Weingeist am geeignetsten, später bediente ich mich des Aethers und des Benzins, die früher entschieden ungünstig wirkten, und schliesslich mußte ich die Fläche mit feinem Smirgelpapier abreiben und dann mit Weingeist und Fließpapier wieder glänzend putzen. Genauere Angaben über das Verhalten verschiedener Oberflächen findet man in einem späteren, diesem Gegenstande besonders gewidmeten Paragraphen.

Auf ihrer unteren Fläche waren die Platten mit einer Stanniolbelegung versehen, welche sorgfältig zur Erde abgeleitet war.

1) Horngummi.

Die Entladung wurde auf sie geleitet, indem von den Conductoren der Elektrisirmaschine ein Draht nach der einen Kugel eines Sauerwald'schen Funkenmikrometers geführt, die andere Kugel aber mit einem auf die Platte aufgesetzten Zuleiter in Verbindung gebracht wurde.

Als Zuleiter dienten sehr feine Stricknadeln, welche an einem eigenthümlichen, durch Gelenke vielfach beweglichen Stativ isolirt befestigt waren, und mit Leichtigkeit auf die Platte aufgesetzt und wieder abgehoben werden konnten.

Dieses vorausgeschickt, lasse ich nun die einzelnen Versuche folgen.

I.

§. 1. Abhängigkeit der Figuren von der Art der Entladung

Die Frage nach der Abhängigkeit der entstehenden Staubfiguren von der Art der Entladung wurde schon früher zum Gegenstande der Untersuchung gemacht¹⁾. Damals war jedoch das Hauptaugenmerk nur darauf gerichtet, ob einfache oder zusammengesetzte Figuren entstehen, während die verschiedenen Typen der einfachen Figuren noch unbeachtet blieben.

Solche verschiedene Typen treten aber bei den positiven einfachen Figuren mit größter Bestimmtheit auf. Schickt man einen positiven Entladungsfunken auf eine dünne, mit gut abgeleiteter Belegung versehene Probeplatte, so entsteht ein vielstrahliger, sehr regelmäßiger Stern, wenn der Schließungsbogen aus lauter guten Leitern besteht. Befindet sich hingegen ein feuchter Leiter zwischen der Platte und Elektricitätsquelle, so wird die Figur bei sonst gleichen Umständen etwas kleiner, strahlenärmer und ganz unregelmäßig. Am allerleichtesten kann man diese verschiedenen positiven Figuren erhalten, wenn man zuerst eine negative Entladung auf die Platte gehen läßt und dann den vorher isolirten Zuleiter ableitend berührt. Alsdann erhält man positive Figuren in den negativen und diese positiven Figuren sind ganz verschieden, je nachdem man den Zuleiter

1) Sitzungsber. d. k. Bair. Akad. d. Wiss. f. 1869, Bd. II, S. 371.

nur mit dem trockenen Finger oder mit einem metallenen mit der Erde leitend verbundenen Entlader berührt hatte. Im ersteren Falle erhält man einen Stern, im letzteren eine Figur mit eigenthümlich verkrümmten und verzogenen Aesten. In Fig. 5 und 6, Taf. V sind die beiden Arten von Figuren dargestellt.

Fragt man nach der Ursache dieser Verschiedenheiten, so muß sie wohl vorzugsweise in der Ungleichheit der Zeiten gesucht werden, welche die Entladung unter diesen verschiedenartigen Bedingungen beansprucht.

Befindet sich ein feuchter Leiter zwischen der Probeplatte und der Elektrizitätsquelle, so geht die Bildung der Lichtenberg'schen Figuren ganz außerordentlich langsam von statten. Als eine kleine Leydener Flasche bis zu einer Schlagweite von 3^{mm} geladen worden war, ging bei Einschaltung einer U-förmigen, mit destillirtem Wasser gefüllten Röhre von 40 Ctm. Länge und 6^{mm} Querschnitt nur ein ganz kleines Fünkchen durch die Funkenstrecke, welches auf der Probeplatte nur ein Sternchen mit wenigen Strahlen hervorrief, deren Länge kaum ein drittel jener Länge betrug, welche sie bei gutleitendem Schließungsbogen erreicht hätten. Wurde nun die Funkenstrecke überbrückt, indem ein an einem isolirenden Handgriffe befestigter Draht herübergelegt wurde, so hörte man immer in kleinen Pausen von etwa einer halben Secunde ein leises Knistern auf der Platte, und sah, wenn diese zuvor bestäubt worden war, hiebei jedesmal einen oder einige neue Strahlen entstehen. Erst nach 5 bis 10 Secunden war diese Fortbildung der Figur beendigt; sie hatte demnach zu ihrer völligen Ausbildung eine bedeutende Zeit nöthig.

Dies führt auf die Vermuthung, daß die Regelmäßigkeit der Ausbildung einer positiven Figur wesentlich von der Zeit abhängt, welche hiezu erforderlich ist, und zwar scheint es, daß die Figur um so regelmäßiger wird, je kürzere Zeit ihre Entstehung beansprucht. Diese Vermuthung gewinnt noch dadurch an Wahrscheinlichkeit, daß es, abgesehen von der Einschaltung verschiedener Widerstände

zwischen Elektrizitätsquelle und Probeplatte, noch eine Reihe von Umständen giebt, welche die positiven Figuren dem einen oder dem anderen Typus näher bringen:

a) Auf unbelegten Probeplatten werden die Figuren unregelmässiger als auf belegten. Fig. 1 und 2, Taf V zeigt Figuren, welche zwar zu einem anderen Zwecke hergestellt wurden, und von denen deshalb erst später in § 6 ausführlich die Rede sein soll, die jedoch die Verschiedenheit, welche durch die Anwesenheit oder durch den Mangel einer Belegung hervorgerufen wird, recht deutlich erkennen lassen. Fig. 1 Taf. V ist auf einer belegten, Fig. 2 auf einer unbelegten Platte unter sonst ganz gleichen Umständen gebildet worden.

b) Die Figuren werden um so strahlenreicher und regelmässiger, je dünner die Probeplatte ist. Ueberzieht man Blechtafeln mit dünnen Schichten von Siegellack, so werden die positiven Figuren so regelmässig kreisrund, die Zahl der einzelnen schnurgeraden Strahlen so gross, dass man bei nicht sehr feinem Pulver und bei oberflächlicher Betrachtung sie leicht für negative Figuren halten könnte, wenn nicht die Farbe des bedeckenden Pulvers vor solchem Irrthum schützen würde.

Fasst man die Kräfte in's Auge, welche bei den eben beschriebenen Versuchen in's Spiel kommen, so sieht man, dass die Figuren um so regelmässiger werden, je grösser die Kraft ist, welche im Sinne des Zuleiters thätig ist. Je dicker die Platte, um so geringer ist bei abgeleiteter Belegung diese Kraft, während eine unbelegte Platte als eine solche von unendlicher Dicke angesehen werden kann. Da aber vermuthlich die Geschwindigkeit, mit welcher die Bildung der Figur vor sich geht, mit dieser Kraft wächst, so lassen sich die zuletzt beschriebenen Einflüsse auf das schon oben gegebene Princip zurückführen.

Man kommt demnach zu dem Resultate: *Die positiven Figuren bestehen aus vielen geradlinigen, radialen Strahlen, wenn die Entladung rasch vor sich geht, sie zeigen eine*

geringere Zahl unregelmäßig verkrümmter und ungleich langer Aeste, wenn die Bildung der Figur langsam erfolgt.

Nach der oben mitgetheilten Betrachtung über die Figurenbildung bei eingeschaltetem feuchten Leiter wird es wahrscheinlich, daß bei jenen unregelmäßigen die Aeste nicht gleichzeitig gebildet werden, sondern nacheinander entstehen. Es war mir deshalb interessant zu untersuchen, wie eine bereits vorhandene Figur auf eine neue Figur derselben Art wirke, die von dem gleichen Punkte aus entsteht. Ich ließ deshalb zwei Funken nacheinander überspringen und beobachtete die Figur. Das Resultat war sehr auffallend:

War zwischen dem Uberspringen der beiden Funken ein Zeitraum von mehreren Secunden verflossen, so wurde der entstehende Stern nur etwas dichter und etwas unregelmäßiger. Folgt hingegen die Funken sehr rasch aufeinander, so entstand jedesmal eine Figur wie man sie in Fig. 4, Taf. V findet. Alsdann schlägt nämlich die neue Entladung auf der Platte die Wege der alten ein, die Strahlen, welche das erstemal gebildet wurden, werden hiedurch zu kräftigen Stämmen, und erst, wenn ihre Spitzen erreicht sind, tritt eine Verästelung ein. Der Grund ist wahrscheinlich darin zu suchen, daß durch die erste Entladung die über der Platte befindliche Luft vorzugsweise an jenen Stellen erwärmt wurde, wo sich Strahlen gebildet haben. Kommt nun eine zweite Entladung während jene Erwärmung noch wirksam ist, so wird sie sich leichter durch die erwärmten Bahnen hindurch fortpflanzen, als durch die übrige Luft. Ist dagegen die Luft bereits abgekühlt und haftet nur noch Elektrizität an den einzelnen durch die Figur bezeichneten Stellen des Isolators, so wird die neu hinzu kommende Elektrizität derselben, wegen der Abstofsung, welche sie von der bereits vorhandenen erfährt, mit Vorliebe andere Wege einschlagen, d. h. es werden sich neue Strahlen zwischen den alten bilden.

Die hier ausgesprochene Ansicht wird durch später (§. 5) zu beschreibende Versuche wesentlich unterstützt.

§ 2. Einfluss von Elektricitätsmenge und Schlagweite.

Schon die oberflächlichste Beobachtung zeigt, dass die Grösse der entstehenden Lichtenberg'schen Figur ganz wesentlich von der Schlagweite abhängt, auf welche man das Funkenmikrometer eingestellt hat. Ebenso erkennt man leicht, dass die Figuren grösser werden, wenn man sich einer Leydener Flasche als Elektricitätsquelle bedient, als wenn man nur den Conductor der Elektrisirmaschine mit der Funkenstrecke verbindet.

Um diese Einflüsse genauer zu erforschen, wurden auf einer kreisrunden Ebonitplatte von 233^{mm} Durchmesser und 4,2^{mm} Dicke, deren Stanniolbelegung einen Durchmesser von 176^{mm} hatte, sowohl positive als negative Figuren unter Anwendung verschiedener Schlagweiten hergestellt. Die sämtlichen Versuche, welche zuerst ohne Anwendung einer Leydener Flasche angestellt waren, wurden hierauf mit Benutzung einer solchen wiederholt.

Bei jeder einzelnen Anordnung wurde eine Reihe von sechs Versuchen gemacht, nachweisbar falsche jedoch sofort verworfen. Die Resultate der einzelnen Versuche findet man in den folgenden Tafelchen. Hiebei bedeutet die oberste Zahl jeder Verticalreihe die Schlagweite, bei welcher die sechs Versuche angestellt wurden, deren Ergebnisse darunter stehen. Zum Schlusse giebt noch die unterste Zahl jeder dieser Reihen den Mittelwerth aus den sechs Versuchen. Durch diese Zusammenstellung ist man in den Stand gesetzt, über den Werth der Gesammtresultate ein Urtheil zu gewinnen.

Die Tafeln über die negativen Figuren enthalten doppelt so viele Zahlen, da man bei diesen sowohl den Durchmesser des Fleckes als auch jenen des staubfreien Ringes zu berücksichtigen hat, die Verticalzeilen, welche die erste-

ren enthalten, wurden α , die anderen mit β überschrieben. Uebrigens sind die Angaben über die negativen Figuren viel unsicherer als jene über die positiven Figuren, da die ersteren noch während des Bestäubens ihre Dimensionen ändern und sich durchaus nicht an allen Stellen gleichzeitig mit Pulver bedecken. Bei allen Versuchen wurde die Scheibe der Elektrisirmaschine so langsam gedreht, dass nur ein Funke im Mikrometer übersprang, was bei rascherem Drehen sehr häufig nicht der Fall ist. Der Schließungsbogen war nur aus metallischen Leitern zusammengesetzt.

Ich lasse nun die Zahlen selbst folgen:

Positive Figuren, ohne Leydnerflasche hergestellt.

Schlagweite	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm
Durch- messer der Figuren	18	27	37	41	47	52	53
	16,2	27	39	42	53	54	53
	14,2	26	35	43	49	52	59
	15,0	27	37	47	45	53	59
	16,4	27	37	41	52	52	58
	14,8	28	35	45	47	54	59
Mittel:	15,8	27,0	36,6	43,1	48,5	52,8	56,8

Positive Figuren mit Leydnerflasche hergestellt.

Schlagweite	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
Durch- messer der Figuren	25	40	52	61	64
	22	39	53	59	70
	25	40	53	62	64
	24,5	39	52	60	71
	22	40	52	61	72
	23	39	51	61	59
Mittel:	23,7	39,5	52,1	60,7	66,6

Negative Figuren ohne Leydnerflasche hergestellt.

Schlagweite	1mm		2mm		3mm		4mm		5mm	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
Durch- messer der Figuren	3,2	8,4	6,0	15,2	9,0	20,5	12,0	24,5	13,0	25
	3,3	9,2	5,8	13,2	8,0	17,5	10,5	21	13,3	25
	3,5	8,2	5,8	13,5	9,5	19,5	12,8	24,8	12,5	25
	4,5	13,0	5,8	13,0	10,0	20,0	12,2	22,5	14,2	28
	2,9	9,0	6,5	14,7	10,5	20,5	12,1	22,5	14,2	27
Mittel:	3,0	7,7	6,5	14,0	10,5	21,0	11,8	23,0	15,0	28
Mittel:	3,4	7,1	6,1	13,9	9,4	19,9	11,9	23,0	13,7	26

Negative Figuren mit Leydnerflasche hergestellt.

Schlagweite	1mm		2mm		3mm		4mm		5mm	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
Durch- messer der Figuren	4,8	10,2	9,2	16,5	11,0	21,0	14,5	26,0	17,0	31,0
	5,0	13,0	9,4	20,0	12,8	22,0	15,0	27,0	20,0	39,0
	5,0	12,5	9,2	20,0	12,0	22,0	14,2	29,0	15,0	31,0
	4,2	8,2	9,4	21,0	14,8	27,0	14,0	24,0	16,2	29,0
	5,8	16,0	9,6	18,2	12,0	22,0	13,2	27,0	17,2	28,0
Mittel:	4,8	12,0	9,0	20,0	12,4	23,2	14,0	26,0	17,0	29,0
Mittel:	4,8	12,0	9,3	19,3	12,5	22,9	14,1	26,5	15,4	31,5

Vergleicht man diese vier Gruppen von Zahlen, so sieht man, daß sämtliche Figuren größer werden, wenn man unter sonst gleichen Umständen eine Leydnerflasche zu ihrer Herstellung verwendet, d. h. die *Elektricitätsmenge* vergrößert. Hierbei wachsen die Dimensionen in ziemlich constantem Verhältnisse.

Dies sieht man am besten, wenn man die gewonnenen Mittelwerthe in einer besonderen Tafel zusammenstellt, deren erste Verticalzeile die Schlagweiten, die mit I und II bezeichneten die Dimensionen der Figuren geben, je nachdem sie ohne (I) oder mit (II) Leydnerflasche gebildet wurden, während die mit Q überschriebene das Verhältniß der Durchmesser in den beiden Fällen gibt.

Schlagweite	positive Figuren			negative Figuren		
	I	II	Q	I	II	Q
1	15,8	23,7	1,50	3,4	4,8	1,41
2	27,0	39,5	1,46	6,1	9,3	1,52
3	36,6	52,1	1,42	9,4	12,5	1,33
4	43,1	60,7	1,41	11,9	14,1	1,18
5	48,5	66,6	1,37	13,7	15,4	1,12

Aus dieser Tafel, welche bei den negativen Figuren nur die mittleren Fleckdurchmesser enthält, ersieht man sofort, daß die Zunahme in den Dimensionen durch Anwendung einer Leydnerflasche besonders bei den positiven Figuren eine ziemlich constante ist. Beachtet man hiebei, daß die Elektrizitätsmenge, welche in's Spiel kam, nach einer rohen Messung durch das Kohlrausch'sche Sinuselektrometer bei Anwendung der Leydnerflasche etwa die 23fache von jener war, welche auf dem Conductor allein bei gleicher Schlagweite vorhanden war, so erscheint diese Znnahme als eine sehr geringe.

Dies führt zu dem Gedanken, daß die Größe der Figuren nur von der schliesslich auf dem ganzen Systeme herrschenden Spannung (Werth der Potentialfunction) abhängt, und daß demnach schon bei kleinen Leydnerflaschen die Dimensionen der Figuren dem Gränzwerthe, welcher großen Elektrizitätsmengen entspricht, nahe kommen. Diese Vermuthung läßt sich theoretisch begründen.

Gesetzt nämlich, man habe zwischen dem als Elektrizitätsquelle dienenden Conductor und dem auf der Probeplatte ruhenden Zuleiter eine vollkommen leitende Verbindung hergestellt. Dann muß doch auf dem ganzen Systeme Gleichgewicht herrschen, d. h. es muß an der Spitze des Zuleiters die Potentialfunction den nämlichen Werth haben als auf dem Conductor. Um dieses Gleichgewicht zu erzielen, mußte an den Zuleiter und an die isolirende Platte Elektrizität abgegeben werden. Ist diese Elektrizitätsmenge klein gegen die auf dem Conductor, beziehungsweise Ansammlungsapparate, vorhandene, so wird die ursprünglich auf demsel-

ben herrschende Spannung durch die Verbindung mit dem Zuleiter, d. h. durch die Bildung der Figur keine wesentliche Erniedrigung erfahren. Wäre nun bei gleicher Spannung ein noch größerer Ansammlungsapparat angewendet worden; so würde doch die an Zuleiter und Platte abgegebene Elektrizitätsmenge nahezu die gleiche bleiben, und deshalb auch die entstehende Figur dieselbe seyn müsse. Ist hingegen der Ansammlungsapparat so klein, daß die an den Zuleiter und die Platte abgegebene Elektrizitätsmenge wesentlich in Betracht kommt, so ist auch zur Herstellung des schließlichen Gleichgewichtszustandes eine geringere Menge auf der Platte erforderlich und es wird demnach die entstandene Figur kleiner seyn, vorausgesetzt, daß die Vertheilung der Elektrizität auf der Figur in beiden Fällen die gleiche sey.

Aehnlich verhält sich die Sache, wenn zwischen Elektrizitätsquelle und Zuleiter eine Funkenstrecke eingeschaltet ist. Nur wird dann das Gleichgewicht auf dem Systeme nicht mehr durch vollkommen gleiche Spannung auf Zuleiter und Funkenstrecke erreicht, sondern die Gleichgewichtsbedingung besteht jetzt darin, daß die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Kugeln des Funkenmikrometers unter eine bestimmte Gränze herabsinkt, welche ein weiteres Uebergehen von Funken ausschließt. Diese Spannungsdifferenz ist jedoch nicht nur eine Function der Schlagweite, sondern sie hängt außerdem noch von der Beschaffenheit (Temperatur) der zwischen den Kugeln befindlichen Luft ab, mithin auch von der durch die ersten Partialentladungen hervorgerufenen Erwärmung. Je geringer die letztere, um so größer ist die Spannungsdifferenz, welche zum weiteren Durchbrechen der Funkenstrecke erforderlich wird. Je geringer mithin die Elektrizitätsmenge ist, welche bei der ersten Partialentladung die Luft durchbrochen hat, um so rascher wird der Weg wieder verschlossen, ein um so geringerer Bruchtheil der ganzen vorhandenen Elektrizitätsmenge kommt überhaupt zum Uebergange. Bei kleinen Mengen und kleinen Ansammlungsapparaten besteht mithin zwischen

dem vollkommen geschlossenen und dem durch eine Funkenstrecke unterbrochenen Zuleitungsbogen der größte Unterschied, und eine Vermehrung der Menge durch Vergrößerung des Ansammlungsapparates wird deshalb auch bei absolut kleineren Mengen d. h. bei kleinen Schlagweiten am meisten in's Gewicht fallen.

Dieser Einfluss spricht sich in den mitgetheilten Zahlen auch wirklich aus, der Quotient Q ist bei keinen Schlagweiten größer als bei beträchtlicher Entfernung der Mikrometerkugeln.

Auch die Vermuthung, daß bei fortgesetzter Vermehrung der Elektrizitätsmenge durch Vergrößerung der Ansammlungsapparate die Dimensionen der Figuren einem Gränzwerthe zustreben müssen, läßt sich durch den Versuch als richtig erweisen.

Nachdem nämlich der einen Leydnerflasche noch eine zweite derselben Art hinzugefügt worden war, ergaben sich für die Durchmesser der positiven Figuren bei 1^{mm} Schlagweite in sechs aufeinander folgenden Versuchen die nachstehenden Werthe:

24,2	24,2	24,0	24,2	23,8	23,5
------	------	------	------	------	------

mithin im Mittel 23,98.

Stellt man diesen Mittelwerth mit den früher erzielten zusammen, so ergaben sich bei Anwendung

von 0 Leydnerflaschen Figuren von 15,8^{mm} Durchmesser

• 1	•	•	•	•	23,7 ^{mm}	•	•
• 3	•	•	•	•	23,9 ^{mm}	•	•

Die Zunahme der Dimensionen nach Beifügung der zweiten Flasche ist, wie man sieht, eine äußerst unbedeutende.

Man ist mithin zu der Annahme berechtigt, daß schon bei Anwendung einer einzigen mässig großen Flasche die Dimensionen der Figuren dem Gränzwerthe sehr nahe kommen, welchen sie bei unendlich großen Elektrizitätsmengen, aber bei gleichbleibender Schlagweite erreichen würden.

Aus der Thatsache, daß man die Kugeln des Funkenmikrometers einander bedeutend nähern muß, wenn man

nach Uebergang eines Funkens noch ein weiteres Ueberspringen eines solchen erzielen will, kann man den Schluss ziehen, dass die Spannungsdifferenz, von welcher oben die Rede war, nach Herstellung des Gleichgewichtes im Allgemeinen eine sehr geringe seyn wird. Es darf demnach auch keine wesentliche Gleichgewichtsstörung eintreten, wenn man nach Uebergang des Funkens die Funkenstrecke durch einen metallischen Leiter überbrückt.

In Wirklichkeit erleidet auch eine bereits gebildete Figur keine merkbare Veränderung mehr, wenn man nachträglich die Funkenstrecke durch einen an einem isolirenden Stiele befestigten Draht überbrückt. Diefs gilt jedoch nur für den Fall, wo der ganze Zuleitungsbogen mit Ausnahme der Funkenstrecke nur aus metallischen Leitern besteht. Befinden sich auch feuchte Leiter in demselben, so ist, wie schon oben bemerkt, eine vollständige Ausbildung der Figur erst nach Ueberbrückung der Funkenstrecke möglich. Der Grund davon ist wohl darin zu suchen, dass sich in diesem Falle die Entladung auf die erste Partialentladung beschränkt. Von den besonderen Eigenthümlichkeiten, welche die Figuren in diesem Falle zeigen, war schon oben in §. 1 die Rede.

Als Resultat der in diesem Paragraphen mitgetheilten Untersuchungen ergiebt sich:

Die Dimensionen der Lichtenberg'schen Figuren hängen unter sonst gleichen Umständen, d. h. bei gleichem Schliessungsbogen, gleicher Probeplatte usw. und bei einigermaßen beträchtlicher Capacität der Electricitätsquelle nur von der Spannung ab, welche auf dem geladenen Leitersysteme herrscht.

Ein gleicher Zuwachs der Schlagweite (Spannung) bringt bei kleinen Schlagweiten eine grössere Aenderung in den Dimensionen der Figuren hervor als bei grossen Spannungen.

§. 3. Einfluss der Dicke der Probeplatte und der Belegung.

Nachdem der Einfluss der Schlagweite auf die Grösse der Figuren untersucht war, trat die Frage an mich heran,

welche Rolle die Dicke der isolirenden Platte und die Gröfse ihrer Belegung spielen.

Um bei diesen Untersuchungen von den Zufälligkeiten unabhängig zu seyn, welche bei nach einander vorgenommenen Entladungen in Betracht kommen können, wurden im Folgenden die beiden zu prüfenden Tafeln jederzeit gleichzeitig dem Versuche unterworfen. Es wurden nämlich von der zweiten Kugel des Funkenmikrometers aus zwei gleiche Drähte zu zwei gleichen Zuleitern geführt, deren jeder auf einer der zu untersuchenden Platten ruhte.

Die beiden zu vergleichenden Figuren verdankten demnach immer ein und denselben Funken ihre Entstehung, und man hatte mithin nur ihre relative Gröfse in Betracht zu ziehen.

Vor Allem wurde festgestellt, dafs bei dieser Anordnung auf gleichen Platten auch genau gleiche Figuren entstehen, und dafs es gleichgültig ist, an welcher Stelle der Tafel der Zuleiter sich befindet, wenn er nur dem Rande der gegenüberstehenden Belegung nicht so nahe kommt, dafs die entstehende Figur von oben gesehen, über diesen Rand hinübergreifen würde.

Hierauf wurden zwei Ebonitplatten, welche aus ein und demselben Stücke von 2^{mm} Dicke geschnitten waren, mit verschiedenen Belegungen versehen. Die Belegung der einen Tafel *A* hatte einen Durchmesser von 195^{mm}, die andere *B* einen solchen von 66,5. Beide Belegungen waren vollkommen zur Erde abgeleitet. Die Durchmesser der gleichzeitig entstandenen positiven Figuren betrugen auf den Platten:

	<i>A.</i>	<i>B.</i>
1. Versuch	22,5	22,5
2. "	38,2	38,2
3. "	38,0	38,0.

Hätte ich mich nicht der Methode der Verzweigung bedient, sondern die zu vergleichenden Versuche nach einander ausgeführt, so wären die beiden letzten Versuche zu verwerfen, da bei ihnen ein Doppelfanke übersprang. Bei

der von mir befolgten Methode können aber auch solche Versuche mit voller Beweiskraft benutzt werden.

Wurde die Gröfse der Belegung *B* noch weiter vermindert, so war doch ebensowenig ein Einfluss auf die Gröfse der Figur bemerkbar, so lange die Gröfse dieser Belegung nicht jener der entstehenden Figur nahezu gleich, oder gar noch geringer war. Dann zeigte die Platte mit der kleineren Belegung auch die kleinere Figur.

Einen Ueberblick über die Verhältnisse gewährt die folgende Tabelle:

Gröfse der Belegung:	Durchmesser der Figur:
160	30,0
90	29,2
40	29,7
20	23,5
0	22,3. ¹⁾

Anders verhält sich die Sache, wenn die Belegungen isolirt sind, dann macht sich der Einfluss ihrer Gröfse wohl geltend und zwar ebenfalls in dem Sinne, dass der gröfseren Belegung auch gröfsere Figuren entsprechen. Man übersieht dies leicht aus der folgenden Tabelle, welche in der Horizontalreihe *D* die Durchmesser der Belegungen, und darunter jene von positiven Figuren enthält, welche bei einer Schlagweite von 3^{mm} ohne Anwendung einer Leydnerflasche hergestellt wurden.

Platte:	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
<i>D</i>	195	66,5	195	40	195	20
Durchmesser	29	21	27,5	17	29	15
der	29	21	29	18	28	13
Figuren	30	21	33	19	28	14
Mittel:	29,3	21	29,8	18	28,3	14

Die Untersuchung über den Einfluss der Gröfse der Belegung führt demnach zu dem Resultate:

- 1) Bei diesem Versuche war der Ableiter dem Zuleiter gegenüber von unten angesetzt.

Bei abgeleiteten Belegungen hat deren Gröfse gar keinen Einfluss, so lange die Belegungen gröfser sind, als die auf der anderen Seite entstehenden Figuren. Bei isolirten Belegungen entspricht der gröfseren Belegung auch die gröfsere Figur.

Diefs Ergebnifs war von vornherein zu erwarten, wenn man das Spiel der Kräfte in Betracht zog, welche in den verschiedenen Fällen thätig sind.

In ähnlich untergeordneter Weise macht sich auch die Dicke des Isolators geltend. Die Unterschiede, welche dort auftreten, sind sogar bei denjenigen Dicken der Platten, wie man sie wohl meistens benutzen wird, so gering, dafs es schwer wird, eine Gesetzmäfsigkeit für diesen Einfluss zu finden.

Ich lasse hier nur einige Versuchsreihen folgen, um ein Bild zu geben von den Gröfsen, mit welchen man es hier zu thun hat:

Glasplatten waren mit einer dünnen Schicht von Siegelacklösung überzogen worden, und wurden hierauf paarweise dem Versuche unterworfen, indem jede derselben mit der dünnsten von allen verglichen wurde. D. h. es wurde immer der eine der Zuleiter auf die zu untersuchende Platte, der andere auf die dünnste von allen aufgesetzt. Jeder Versuch wurde 5 mal wiederholt; man findet die nacheinander angestellten Versuche in den folgenden Tabellen nebeneinander. Am Eingange jeder Zeile steht die Dicke der Tafel, auf welcher die Figur hergestellt wurde. Die vorletzte Verticalreihe enthält die Mittelwerthe aus jeder Versuchsreihe, und die letzte endlich das Verhältnifs der beiden untereinander stehenden Mittel.

Dicke des Isolators	Durchmesser der Figuren						Mittel	Quotient
1,6 0,8	18 20,5	19 20,5	20,5 21,8	21 22	20 20	19,7 21,0		1,06
2,1 0,8	18,5 19	19,5 20,4	19,5 20,3	19 20,1	20,8 21,3	19,4 20,2		1,04
3,1 0,8	21 21	19 21	17 19	18,5 19,1	19 19	18,8 19,8		1,04
3,8 0,8	16 18	20 20	19 19	20 20	19 19	18,8 19,2		1,02
9,0 0,8	17 21,5	18 21	19 21	19 22	19 23	18,4 21,7		1,18

Aus diesen Versuchsreihen, welche mit positiver Elektrizität angestellt wurden, ersieht man, dass die Figuren auf der dünnen Platte jederzeit gröfser sind als auf der dickeren, dass jedoch dieser Unterschied ein höchst unbedeutender ist, selbst bei beträchtlich verschiedener Dicke der Platten. Bemühungen, dieselben Untersuchungen mit negativer Elektrizität durchzuführen, waren nicht von dem erwünschten Erfolge begleitet, da die Fehler in der Dimensionsbestimmung der einzelnen Figuren jene kleinen Unterschiede übertreffen, um welche es sich hier handelt.

Ebenso ist die Untersuchung über die Dimensionen der Figuren bei verschiedener Dicke eine höchst schwierige, wenn man nicht Stromtheilung anwendet, sondern die gleichen Versuche nacheinander auf verschiedenen Tafeln ausführt.

Alsdann wird das Gesetz jedenfalls ein anderes, und zwar ein verschiedenes, für positive und negative Figuren. Ueberdies scheint dasselbe auch noch von der Art der Entladung und der Menge der angewendeten Elektrizität abzuhängen, so dass eine erschöpfende Untersuchung dieses Punktes Schwierigkeiten darbietet, die mit der zu erwartenden Ausbeute in keinem Verhältnisse stehen. Ich begnüge mich deshalb hier einige Mittelwerthe anzuführen, denen

ich aber selbst trotz der grossen Mühe, die ich auf diesen Punkt verwendet habe, keinen hohen Werth beilegen möchte. Immerhin wird die Angabe derselben genügen, um eine Vorstellung von den Grössen zu geben, um welche es sich hier handelt.

Sie wurden sämmtlich erhalten, indem ich den Schlag der schon früher benutzten Leydnerflasche durch eine Funkenstrecke von 3^{mm} gehen liess. Die Resultate waren:

Dicke des Isolators	Durchmesser d. Figuren	
	+ E	— E
1,6	24,0	11,0
2,1	24,1	9,8
3,1	26,0	9,4
4,2	25,6	9,3
∞	19,0	6,2

Die letzte Rubrik wurde erhalten, indem eine unbelegte Tafel als unendlich dick angesehen wurde. Auf ganz dünnen Platten, wie man sie durch Ueberziehen von Metallplatten mit Firnissschichten erhält, werden die Figuren beträchtlich kleiner, und zwar tritt hierbei der merkwürdige Umstand ein, dass die negativen Figuren in diesem Falle die positiven an Grösse übertreffen. Sie nehmen auch einen ganz anderen Charakter an; so dass man sie auf den ersten Anblick durchaus nicht mehr als Lichtenberg'sche Figuren erkennen würde, wenn man nicht durch Anwendung verschieden dicker Schichten die Uebergänge herstellen könnte.

Es wurde nämlich schon oben erwähnt, dass auf dünnen Tafeln die positiven Figuren regelmässiger und strahlenreicher werden. Ueberzieht man Metallplatten so dünn als möglich mit geschmolzenem Siegelack, so werden, wie ebenda beschrieben, die positiven Figuren so regelmässig, dass man sie nur durch die Farbe von den negativen unterscheiden kann. Hiebei wird es zugleich unmöglich, einfache Figuren herzustellen, da immer an der einen oder anderen Stelle die Lackschicht durchbrochen und mithin eine Entladung herbeigeführt wird. Meist geschieht dies an mehreren

Stellen zugleich, wenn die primäre Figur eine positive war. Negative Elektricität theilt sich dagegen gleich von vorn herein in mehrere Funken, so daß die Figuren ein eigenthümliches Ansehen bekommen. Die Figuren 14 und 15 stellen solche Figuren dar, wie sie auf sehr dünnen gefirnissten Platten entstehen.

Scharfer Messung ist diese Gruppe von Erscheinungen nicht fähig; ich führe nur einige wenige Zahlen an, wie sie bei einer gefirnissten Blechplatte bei 2^{mm} Schlagweite ohne Anwendung einer Leydnerflasche erhalten wurden.

Dicke der isolirenden Schicht	Durchmesser d. Figuren	
	+ E	- E
0,50 *	11,0 *	7,5 *
0,08	6,0	7,0
0,07	5,1	7,6
0,05	4,9	6,0

Die oberste Reihe der in diesem Täfelchen enthaltenen Zahlen wurde durch Versuche auf einer mit Siegelack überzogenen Blechplatte erhalten. Die im nächsten Paragraphen mitgetheilten Versuche werden beweisen, daß es statthaft ist, Figuren, welche auf Platten von verschiedenem Materiale entstanden sind, ohne Rücksicht auf das letztere mit einander zu vergleichen. Um die Dicke der Firnissschicht zu bestimmen, wurde ein gefärbter Firnis angewendet, dessen Dicke auf eine ebene Glasplatte gegossen, und dort sphärometrisch bestimmt. Indem diese Platte auf eine Blechplatte gelegt wurde, welche mit der gefirnissten die gleiche Beschaffenheit zeigte, war es möglich, aus der Färbung einen angenäherten Schlufs auf die Dicke der Schicht zu ziehen. Bei der Unsicherheit, die diesen Versuchen ihrer Natur nach anhaftet, schien es nämlich nicht der Mühe werth, eigens eine abgeschliffene Metallplatte für diesen Zweck herstellen zu lassen.

So unvollkommen aber auch diese zuletzt mitgetheilten Zahlen seyn mögen, so dienen sie doch in hohem Grade

dazu, den Verlauf des Gesetzes über die Abhängigkeit der Lichtenberg'schen Figuren von der Dicke des Isolators wenigstens im Allgemeinen erkennen zu lassen.

Schon aus den Messungen, welche bei dickeren Platten vorgenommen wurden, liefs sich vermuthen, dafs es eine Plattendicke geben werde; bei welcher die Gröfse der Figuren ein Maximum erreicht, und dafs dies Maximum für die positiven Figuren bei viel gröfserer Dicken zu suchen sey, als für die negativen.

Diese Annahme wird durch die Messungen bei ganz dünnen isolirenden Schichten wesentlich unterstützt.

Eine weitere Verfolgung dieses schwierigen Gegenstandes mag unterbleiben. Für die folgenden Untersuchungen genügt uns das Resultat:

So lange man mit isolirenden Platten zu thun hat, deren Dicken nur wenig von einander verschieden sind, kann man den Einflufs derselben auf die Gröfse der auf diesen Platten gebildeten Lichtenberg'schen Figuren ganz aufser Acht lassen.

§. 4. Abhängigkeit der Figuren von dem Materiale der Probeplatte.

Nach den schönen Versuchen von Wiedemann, welche die Thatsache festgestellt haben, dafs die Lichtenberg'schen Figuren auf isolirenden Platten aus anisotropen Kry- stallen eine gröfsere Ausdehnung nach jener Richtung hin zeigen, nach welcher die Wärmeleitung am grössten ist, war zu erwarten, dafs die Gröfse der Lichtenberg'schen Figuren überhaupt wesentlich von der Leitungsfähigkeit des Materials abhängt, auf welchem diese Figuren hergestellt werden. Diese Vermuthung wird zwar etwas erschüttert durch die bereits von Wiedemann entdeckte Thatsache, dafs die Figuren auf solchen Körpern auch dann noch in der eigenthümlichen Weise auftreten, wenn die Flächen derselben mit einer dünnen Firnissschicht überzogen sind. Hiedurch wird es sehr schwer, sich von der Art und Weise, wie der Isolator auf die Bildung der Figur einwirkt, eine Vorstellung zu machen. Aber immerhin bleibt das Vorhanden-

seyn eines solchen Einflusses auch bei isotropen Isolatoren höchst wahrscheinlich.

Eine oberflächliche Beobachtung scheint einen solchen Einfluß unzweifelhaft darzuthun. Sieht man ja doch schon nach den ersten Versuchen, daß die Herstellung solcher Figuren nur auf gewissen Platten gelingt, und daß eine kleine Veränderung der Plattenoberfläche den Versuch vereiteln kann.

Eine genauere Untersuchung jedoch führte zu dem merkwürdigen Resultate, daß bei isotropen Isolatoren das Material derselben, sowie die Beschaffenheit ihrer Oberfläche nur auf die Schönheit und Dauerhaftigkeit der bei nachherigem Bestäuben hervortretenden Figur, nicht aber auf die Größe und charakteristischen Eigenthümlichkeiten der im Augenblicke der Entladung entstehenden Figur von Einfluß ist.

Bestäubt man die Platte vorher, so ist die erhaltene, sogenannte vertiefte Figur, sowohl ihrer Größe nach, als auch in allen Einzelheiten von dem Isolator vollkommen unabhängig.

Zum richtigen Verständniß dieses auf den ersten Anblick höchst unerwarteten Satzes, trägt ein Versuch wesentlich bei, der schon früher bekannt war, dessen Wiederholung man aber leider nicht vollkommen in der Hand hat. Häufig trifft man die Probeplatte in einem Zustande, in welchem sie nach übergangenen Funken und sofortigem Bestäuben zwar eine Lichtenberg'sche Figur zeigen, die jedoch einer fortwährenden Veränderung unterworfen ist, so daß man auch bei einer positiven Figur nach einiger Zeit nur mehr einen verwaschenen Fleck vor sich hat.

Diese Veränderungen gehen mit sehr ungleicher Geschwindigkeit vor sich, manchmal habe ich beobachtet, daß sie einen ganzen Tag in Anspruch nehmen, ein andermal finden sie schon während des Bestäubens ihren Abschluß. In diesem Falle sieht man alsdann, wie die ersten Polverkörnchen sich zu den Strahlen des positiven Sternes an-

ordnen, während die folgenden Mengen dieses Bild sofort wieder verwischen.

Biot führt diese Thatsache bereits an, erklärt sie jedoch als Folgen der Thätigkeit kleiner Milben, welche sich in dem Pulver befinden sollen. Diese Möglichkeit ist bei Anwendung des Gemisches aus Schwefel und Mennige völlig ausgeschlossen, da in demselben keinerlei derartige Thierchen leben können. Ganz abgesehen davon wäre aber alsdann nicht die Oberfläche der isolirenden Platte das bestimmende, sondern das Pulver, und es wäre undenkbar, daß von zwei nebeneinander gebildeten Figuren die eine vollkommen constant bliebe, während die andere, oder sogar nur ein Theil derselben den erwähnten Veränderungen unterliegt.

Ein anderer Versuch der die Rolle der Oberfläche in deutliches Licht setzt, ist der folgende:

Sehr häufig sieht man, daß verschiedene Stellen ein und derselben Oberfläche die Lichtenberg'schen Figuren bei nachherigem Bestäuben mit ungleicher Deutlichkeit geben. Solche Verschiedenheit in dem Verhalten der einzelnen Theile ein und derselben Tafel läßt sich sehr leicht herstellen, man darf z. B. nur den einen Theil bedecken, den anderen aber der Luft, der Sonne und dem Staube ausgesetzt, einige Zeit liegen lassen, oder irgend eine beliebige Veränderung mit ihm vornehmen, so hat man die gewünschte Ungleichheit.

Setzt man dann den Zuleiter in der Nähe der Gränze der beiden Flächenstücke auf, so daß die entstehende Figur beide beanspruchen muß, dann ist die entstehende Figur durch die Trennungslinie in zwei Theile geschieden, deren einer deutlich, der andere verwaschen seyn kann, ohne daß die Peripherie der ganzen Figur dadurch verändert wird.

Isolirt das eine Stück so schlecht, daß auf ihm gar keine Figur mehr entsteht, und hat man auf diesem Theile den Zuleiter aufgesetzt, so entsteht doch auf dem andern Theile, das ihm zukommende Stück der Figur genau ebenso, als wenn die ganze Fläche brauchbar gewesen wäre.

Man sieht daraus, daß die Beschaffenheit der Oberfläche

auf die entstehende Figur im Augenblicke ihrer Bildung keinen Einfluss äußert, sondern, daß nur ihre Dauerhaftigkeit davon abhängt.

Hat man vorher bestäubt, so zeigt die entstandene Figur auch die Trennungslinie nicht mehr.

Dies ist z. B. der Fall, wenn man mit Glasplatten arbeitet, die man nur zum Theil mit einem Firnis überzieht. Giebt dann jeder Theil für sich bei nachherigem Bestäuben reine Figuren, so wird eine in der Nähe der Trennungsstelle erzeugte Figur genau ebenso erscheinen wie auf einer homogenen Fläche.

Diesen Versuchen, welche schon die Vermuthung nahe legen, daß der Einfluss der Oberflächen ein sehr untergeordneter sey, lasse ich nun Messungsreihen folgen, welche diesen Satz streng beweisen werden.

Bei diesen Messungen wurde dieselbe Methode angewendet, welche schon im vorigen Paragraphen beschrieben ist. Es wurden nämlich die beiden zu untersuchenden Platten als Theile vollkommen gleicher Zweige benutzt, und demnach immer durch je einen Funken die beiden Figuren gleichzeitig hergestellt.

Die Durchmesser der erhaltenen positiven Figuren findet man in den folgenden Tabellen zusammengestellt.

Eine Glasplatte von 4,0^{mm} Durchmesser mit einer Belegung von 160^{mm} Durchmesser wurde mit einer Hartgummiplatte verglichen, deren Dicke 3,8^{mm} betrug, und deren Belegung 206^{mm} im Durchmesser hatte. Die Figuren hatten bei 6 aufeinander folgenden Versuchen die Durchmesser

auf Glas	auf Ebonit
30	29
28	30
25	25
27	27
28	28
29	28
Mittel: 27,8	27,8.

Eine Glasplatte war zum Theil mit einem Firniss über-
gossen worden, wie man ihn zum firnissen von Metall an-
wendet, und es wurden nun die Figuren gleichzeitig auf
der gefirnissten und auf der ungefirnissten Fläche hergestellt.
Es ergaben sich die Werthe

auf Firniss	auf Glas
24,5	25
26	26
21	20
20	18
24	23
27	27
Mittel: 23,3	23,1.

Eine Platte von grünem Glase war zum Theil in der
Hitze mit geschmolzenem schwarzen Sieglack überzogen
worden. Es fanden sich die Durchmesser auf

Glas	Sieglack
23	22,5
26,7	27
20	20
26,5 ¹⁾	26,5 ²⁾
21	21
21	25
23,3	23,6.

Eine Wachstafel von 8^{mm} Dicke und 205^{mm} Durchmesser
der Belegung wurde mit einer Ebonitplatte von 3,4^{mm} Dicke
und 206^{mm} Belegungsdurchmesser verglichen und gab fol-
gende Dimensionen der Figuren auf

Wachs	Ebonit
40	40
34	43
35	37
32	40
33	35
28	35
Mittel: 33,7	38,3.

2) Ein bloßer Fleck.

1) Ein sehr schöner Stern.

Nach den in §. 3 mitgetheilten Versuchen mußten auf Tafeln von gleichem Material, aber von den hier angewendeten Dicken, die Dimensionen sich etwa verhalten wie 33,7:39, ein Verhältniß, welches dem hier angegebenen sehr nahe kommt.

Eine andere Versuchsreihe, welche mit derselben Kautschukplatte, aber mit einer Wachsplatte von nur 4,4^{mm} Dicke, ausgeführt wurde, ergab auf

Wachs	Ebonit
27	32
26	29
30	26
28	28
36	39
36	40
Mittel: 30,8	32,2.

Endlich wurde noch eine Gypsplatte von 1,5^{mm} Dicke mit einer Glasplatte von 2^{mm} Dicke dem Versuche unterworfen, nachdem beide mit gleich großen Belegungen versehen waren. Der Versuch ergab

auf der Gypsplatte		auf der Glas-
große Axe	kleine Axe	platte
17	11	17
18	14	19
24	17	20
24	16	23,5
24	17	24
26	18	26
22,2	15,8	21,5.

Diese Versuche wurden, wenn es die Platten gestatteten, mit nachherigem, sonst mit vorherigem Bestreuen angestellt. Sie zeigen alle eine ganz auffallende Uebereinstimmung in der Größe der auf den verschiedenen Oberflächen erhaltenen Figuren, so daß man den Einfluß der Oberfläche auf die Größe der Figuren als nicht vorhanden bezeichnen muß.

Um so räthselhafter ist es unter diesen Umständen, daß Krystalle, welche nicht zum regulären Systeme gehören,

einen so wesentlichen Einfluß auf die Gestalt der Figuren zeigen.

Es war mir deshalb interessant, auch andere Körper, welche eine solchen Krystallen ähnliche Structur zeigen, dem Versuche zu unterwerfen. Schon Lichtenberg selbst hatte gefunden, daß man auf trockenem Holze ebenfalls elektrische Staubfiguren herstellen kann, daß sie aber elliptisch werden, scheint er übersehen zu haben. Ich habe nun eine Reihe von Hölzern untersucht, und kam dabei zu einem ebenso merkwürdigen als unerwarteten Resultate.

Die Versuche von Wiedemann lehrten, daß zwischen den elektrischen Staubfiguren und jenen Figuren, welche Sénarmont durch Abschmelzen eines Wachsüberzuges auf Krystallen erhalten hat, der engste Zusammenhang besteht. Die elektrischen Figuren zeigen die gleiche Richtung der großen Axe, wie Sénarmont's Figuren. Die Elektrizität verbreitet sich demnach auf einer Krystallplatte, am schnellsten in jener Richtung, in welcher die Wärmeleitungsfähigkeit am größten ist.

Tyndall hat bewiesen, daß das Holz im Sinne der Faser die Wärme besser leitet, als senkrecht darauf, ein Satz, der sich auch nach der Sénarmont'schen Methode mit größter Leichtigkeit erhärten läßt. Es lag demnach der Gedanke nahe, auch auf Holz elliptische Lichtenberg'sche Figuren zu erzeugen, deren große Axe mit der Faserichtung, d. h. mit der Axe des Stammes zusammenfallen würde.

Der Versuch ergab:

Auf Holz werden die Lichtenberg'schen Figuren elliptisch, aber die große Axe dieser Ellipsen steht senkrecht auf der Längsfaser, d. h. senkrecht auf der Richtung der größten Wärmeleitung.

Uebrigens ist die Excentricität der elektrischen Figur eine ungleich geringere, als jene der Sénarmont'schen Ellipse. Bei den von mir untersuchten Hölzern war das Axenverhältniß im höchsten Falle 5:6 (Ahorn).

Mußte schon der Umstand, daß eine Firnißschicht auf

dem Krystalle die Erscheinung nicht wesentlich beeinflusst, den Gedanken, daß man es hier mit einem der Wärmeleitung ähnlichen Vorgange zu thun habe, wesentlich erschüttern, so wird durch das eigenthümliche Verhalten des Holzes die Analogie vollständig zerstört.

Ich wage keinen Versuch, diese eigenthümlichen Erscheinungen zu erklären, sondern begnüge mich damit, noch ein Experiment anzuführen, durch welches man auf beliebigen isolirenden Platten elliptische Staubfiguren hervorrufen kann.

Versieht man nämlich eine solche Platte auf der einen Seite mit einer Reihe von parallelen schmalen Stanniolstreifen, welche durch Zwischenräume von einander getrennt, und nur am Plattenrande leitend mit einander verbunden sind, so erhält man auf der anderen Seite elliptische Staubfiguren.

(Schluß im nächsten Heft.)

II. *Ueber den Einfluss der astronomischen Bewegungen auf die optischen Erscheinungen;* von *Ed. Ketteler.*

3. Zur Theorie der einfach brechenden Mittel mit extraordinärem Strahle.

Habe ich im vorhergehenden Aufsatze gezeigt, daß die Erklärung des Arago'schen Versuches, demzufolge die scheinbare Ablenkung der durch ein Prisma gebrochenen Strahlen von der Bewegung desselben unabhängig ist, mit Nothwendigkeit auf die Fresnel'schen Hypothesen hinführt, so gilt das Gleiche bezüglich des verwickelteren Vorganges, bei dem der Durchgang des Lichtes durch ein ponderables Medium im Innern desselben zugleich mit Spiege-

lung verbunden ist, oder auch dann, wenn es sich um die Bestimmung der Richtung handelt, in der ein durch eine planparallele Platte betrachteter leuchtender Punkt dem Auge erscheint, oder endlich bei jeder Art von Interferenzversuchen, sofern man nur die Verschiebungen der Interferenzstreifen auf ihre Breite als Einheit bezieht.

Die hier angedeuteten Punkte werde ich jetzt der Reihe nach besprechen. In einer folgenden letzten Mittheilung soll dann in allgemeiner Form gezeigt werden, daß bei den Interferenzerscheinungen allerdings die absolute Verschiebung der Franzen nicht wie die relative von der Bewegung unabhängig ist, und daß insbesondere die Beugungsversuche, welche die Veränderung der Streifenbreite am leichtesten zu messen gestatten, den Beweis liefern, daß jede durch Bewegung erfolgende Richtungsänderung der Strahlen (bei Spiegelung, Brechung und Beugung) von einer entsprechenden Aenderung der Wellenlänge begleitet ist.

19. Ich wende mich zunächst zur Begründung der Fresnel'schen Hypothese durch Spiegelversuche. Sey, um die Theorie der Spiegelung in allgemeinsten Weise zu behandeln, PQ (Fig. 5, Taf. IV) die Projektion eines ebenen Spiegels, der sich im Innern eines ponderablen Mittels befindet. Auf denselben falle aus der Richtung OA eine ebne Welle AB unter dem Einfallswinkel e auf und treffe den Spiegel in einem bestimmten Zeitmoment im Punkte A . Der Spiegel bewege sich mit der Geschwindigkeit g in der Richtung AV , die mit dem verlängerten Einfallslot den Winkel $L'AV = \psi$ mache.

In dem Augenblick, wo Punkt B der Welle den Spiegel erreicht, habe dieser die Lage EC , und die inzwischen von A ausgegangene Erschütterung habe sich mit der absoluten Geschwindigkeit:

12.

$$v_1 = v' + g k \cos \varphi$$

im Raume des bewegten Mittels um A herum verbreitet, unter φ den Winkel verstanden, den der Radius vector v_1 der durch vorstehende Gleichung repräsentirten Geschwin-

digkeitsfläche mit ihrer Rotationsaxe AV bildet. Es sei AD ein Radius vector dieser Fläche, wie sie für den betreffenden Moment konstruirt ist; er habe zudem die Eigenschaft, daß die Verbindungslinie der Punkte C und D auf ihm senkrecht steht. Es ist dann dem Huyghens'schen Princip zufolge DC die Projection der gespiegelten Welle und AS die Normale derselben.

Die Richtung dieser Normalen bestimmt sich folgendermaassen. Heißt der Spiegelungswinkel r und der Winkel QAC , um den der Spiegel sich scheinbar gedreht hat, β , so ist:

$$AD = AC \cdot \sin(r - \beta)$$

$$BC = AC \cdot \sin(e + \beta)$$

und da zudem:

$$\frac{AD}{BC} = \frac{v' - gk \cos(r + \psi)}{v' + gk \cos(e - \psi)},$$

so folgt:

$$\sin(r - \beta) = \sin(e + \beta) \left[1 - \frac{gk}{v'} (\cos(r + \psi) + \cos(e - \psi)) \right]$$

und mit Rücksicht auf die zulässigen Vernachlässigungen, wenn zugleich

$$r = e + \Delta r, \quad \beta = \frac{AE}{AC} = \frac{g}{e} \sin e \cos \psi$$

gesetzt wird:

$$\Delta r = 2 \frac{g}{v'} (1 - k) \sin e \cos \psi.$$

Man sieht, daß, wie von vornherein klar, nur die nach der Richtung des Lothes wirkende Bewegungscomponente in Betracht kommt, und daß die Drehung der gespiegelten Wellennormale sich mit der Natur des Mittels ändert.

Directer und ohne Zuhülfenahme geometrischer Betrachtungen erhält man diesen Drehungswinkel, wenn man das im vorigen Aufsatz besprochene Princip der relativen Geschwindigkeiten zur Erweiterung des Spiegelgesetzes selbst verwendet.

Dasselbe würde die Form erhalten:

$$13. \quad \frac{\sin e}{\sin r} = \frac{v' - g(1 - k) \cos(e - \psi)}{v' + g(1 - k) \cos(r + \psi)}.$$

Und zählt man den Spiegelungswinkel, anstatt vom Lothe, von der Verlängerung desselben ab, so bildet dies Reflexionsgesetz nur eine specielle Form von dem der Brechung.

20. Da die Geschwindigkeitsfläche der bewegten Mittel von der Kugelgestalt abweicht, so hat man zwischen Strahl und Wellennormale zu unterscheiden.

Die Huyghens'sche Construction des Strahles erfordert die Kenntniss der Wellenfläche. Man erhält dieselbe als Enveloppe der durch Gleichung 12 repräsentirten Geschwindigkeitsfläche mittelst der bekannten Gleichungen:

$$v_1 = x \cos \varphi + y \sin \varphi = v' + g k \cos \varphi$$

$$x \cos(\varphi + d\varphi) + y \sin(\varphi + d\varphi) = v' + g k \cos(\varphi + d\varphi)$$

und Elimination des Winkels φ . So kommt zunächst:

$$14. \quad y = v' \sin \varphi, \quad x = v' \cos \varphi + g k$$

und daraus als Gleichung der Wellenfläche in rechtwinkligen und Polarkoordinaten:

$$y^2 + (x - g k)^2 = v'^2.$$

15.

$$r = v' \sqrt{1 - \frac{g^2}{v'^2} k^2 \sin^2 \chi + g k \cos \chi}.$$

Die Wellenfläche fällt also innerhalb der bisher von uns festgehaltenen Genauigkeitsgränze mit der Geschwindigkeitsfläche zusammen. Daraus folgt indeß keineswegs, daß auch der Winkel zwischen Strahl und Wellennormale eine kleine Gröfse höherer Ordnung ist.

Nennen wir die Coordinaten zweier einander zugeordneter Punkte der Geschwindigkeits- und Wellenfläche y, x , resp. η, ξ und den Winkel zwischen η, ξ und der Rotationsaxe χ , dann ist:

$$\frac{y}{x} = \tan \varphi, \quad \frac{\eta}{\xi} = \tan \chi = \frac{v' \sin \varphi}{v' \cos \varphi + g k}$$

und nach einigen Reductionen kommt:

$$16. \quad \tan(\varphi - \chi) = \frac{g k \sin \varphi}{v' + g k \cos \varphi}.$$

- 1) Wie man die zusammengehörigen Werthe von v_1 , r und $\varphi - \chi$ unmittelbar erhält aus der Combination der Geschwindigkeiten v' und gk , ist wohl überflüssig auszuführen.

Da stets $\chi < \varphi$, so bildet der Strahl mit der Bewegungsrichtung einen kleineren Winkel als die Wellennormale; er wird ihr zugedrängt.

21. Was schließlich den Werth der Constante k betrifft, so ergibt sich derselbe aus den Erfahrungen am Reflexionsprisma. Sey (Fig. 6 Taf. IV) PQR der Hauptschnitt eines rechtwinkligen und gleichschenkligen Prisma, wie solche für die gebrochenen Fernrohre der Sternwarten verwandt werden. Die scheinbare Richtung eines Sternes falle zusammen mit dem Einfallslothe der Vorderfläche $O'A$, und das Prisma bewege sich in der Richtung BV , die mit dem verlängerten zweiten Lothe den Winkel ψ einschliesse.

Der Aberrationsfehler der Aufstellung beträgt dann

$$\varepsilon = \alpha_1 = -\frac{g}{v} \sin(p - \psi),$$

und unter diesem Winkel fällt die Welle auf die Vorderfläche auf. Nun ist:

$$\varrho = \frac{\pi}{n}, \quad \sigma = 90 + \varrho - p, \quad s = \sigma + \Delta\sigma \\ r = \varrho + \Delta\sigma, \quad e = \varepsilon + n\Delta\sigma.$$

Wird die austretende Welle mit einem Fernrohr aufgefangen, so ist der scheinbare Austrittswinkel

$$\begin{aligned} &= e + \alpha_2, \\ &= \frac{g}{v} [-\sin(p - \psi) - \cos(p - \psi) \\ &\quad + 2n^2(1 - k)\cos p \cos \psi] \\ &= -\sqrt{2} \frac{g}{v} [1 - n^2(1 - k)] \cos \psi. \end{aligned}$$

Derselbe wird 0, d. h. dem scheinbaren Einfallswinkel gleich, wenn $k = \frac{n^2 - 1}{n^2}$ genommen wird. In diesem Fall ließen sich Prisma und Fernrohr zu einem festen System verbinden, und bei der Beobachtung hätte man die Aberration der Anfangs- und nicht der Schlufsrichtung in Rechnung zu bringen.

Ist AD der der Wellennormale AB zugeordnete Strahl, und gehört ebenso zur Richtung BC der Wellennormale

der Strahl, DE so hat zwar der austretende Strahl die Richtung CN , aber den Austrittspunkt E .

Die Lage dieses Austrittspunktes ist nun natürlich gleichgültig, so lange die entsprechende Welle eben ist. Hat dagegen, wie in einem convergirenden oder divergirenden Strahlenbündel, jeder Strahl seine eigene Richtung, so besteht zwischen den einzelnen Austrittspunkten und dem schließlichen Vereinigungspunkt eine bestimmte Relation. Ersetzt man z. B. das Objectiv des Fernrohrs durch ein äquivalentes, welches die Strahlen schon vor ihrem Eintritt ins Prisma zu durchlaufen haben, und ist $O'A$ die scheinbare Richtung des Centralstrahles, so liegt der gemeinsame Brennpunkt scheinbar auf ES ; man hat daher Fadenkreuz und Ocular auf dem im Punkte E errichteten Lothe EF einzustellen.

Die praktische Astronomie lehrt, daß bei einem so vorgerichteten Instrumente ausschließlich die Aberration der Eintrittsrichtung in Betrag kommt, und so führen denn auch diese Reflexionsversuche mit größter Schärfe zu dem Fresnel'schen Werthe des Coëfficienten k .

22. Nach der gegebenen Erläuterung bleibt über den von Boscovich vorgeschlagenen Versuch nicht viel zu sagen übrig. Bei diesem Versuch handelt es sich um die Bestimmung der Aberrationsconstante eines (etwa geradaxigen) Fernrohrs, dessen innerer Raum mit einem ponderablen Mittel gefüllt ist.

Schon Fresnel selbst wies nach, daß seine Hypothese — sowie es auch früher die Emanationstheorie gethan hat — die Unabhängigkeit der Aberrationsconstante von der Natur des eingeschalteten Mittels verlangt. Mit Rücksicht auf einige von Klinkerfues und von mir nach dieser Richtung ausgeführten Versuche möge die Fresnel'sche Entwicklung etwas verallgemeinert werden. Sei (Fig. 7 Taf. IV) AA' die Axe eines Rohres, das zwischen A und B eine planparallele Schicht eines Mittels vom Brechungsexponenten n enthält; bei F befinde sich ein Fadenkreuz, und die Längen AF und AB heißen f , resp. d . Es sey end-

lich OA die Normale einer auffallenden ebenen Welle, und das Rohr bewege sich senkrecht zur Richtung OA von links nach rechts.

Nenne ich den Einfallswinkel ε und denke mir bei A die Huyghens'sche Construction ausgeführt, so wird der Brechungswinkel ϱ der Wellennormale nahezu $= \frac{\varepsilon}{n}$ seyn. Was den Winkel δ zwischen Strahl und Wellennormale betrifft, so ist gemäß 16:

$$\tan \delta = \frac{gk \sin \varphi}{v + gk \cos \varphi},$$

und da φ nahezu gleich 90° und die höheren Potenzen von $\frac{g}{v}$ vernachlässigt werden dürfen:

$$\delta = \frac{g}{v} k,$$

wie sich ja auch unmittelbar aus der Figur ergibt. Der von A ausgehende Strahl erreicht die Ebene des Fadenkreuzes in einem Punkte G , und es ist:

$$FG = f \cdot \varepsilon + d(\varepsilon - \varrho) + \frac{g}{v} k.$$

Dazu ist eine Zeit nöthig, die sich nahezu ergibt $= \frac{d}{v} + \frac{f-d}{v}$.

Währenddess durchlaufe das Fadenkreuz eine Strecke FF' , so daß:

$$FF' = g \left(\frac{d}{v} + \frac{f-d}{v} \right).$$

Die Punkte F' und G differiren daher um den Winkel:

$$w = \frac{FF' - FG}{f} = \frac{g}{v} \left\{ 1 + \frac{d}{f} \left[n(1-k) - 1 \right] \right\} - \varepsilon \left[1 - \frac{d}{f} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \right].$$

Setzt man $w = 0$, so wird ε die Aberrationsconstante, und dann folgt aus der Annahme: $\varepsilon = \frac{g}{v}$ die Bedingung:

$$n(1-k) = \frac{1}{n}, \quad k = \frac{n^2 - 1}{n^2}.$$

Würde man dagegen das Rohr unter dem gewöhnlichen Poggendorff's Annal. Bd. CXLIV.

Aberrationswinkel aufstellen und dem k andere Werthe beilegen, so wäre:

$$w = \frac{g}{v} \left[n(1 - k) - \frac{1}{n} \right] \frac{d}{f}.$$

Klinkerfues z. B. setzt $k = 0$ und erhält so:

$$w = \frac{g}{v} \frac{d}{f} \frac{n^2 - 1}{n}, \quad \varepsilon = \frac{g}{v} \frac{1 + \frac{d}{f}(n - 1)}{1 - \frac{d}{f} \frac{n - 1}{n}} = \alpha.$$

Bei Ausführung der Versuche muß die Axe AA' irgendwie fixirt werden. Sieht man ihrer Lichtschwäche halber von Dioptern ab, so genügt es, das Rohr bei A durch ein Objectiv von der Brennweite AF zu schliessen. Es dringen dann zwei congruente, von G und F' ausgehende Kugeln in's Auge. Wollte man bei A' ein Okular¹⁾ hinzufügen und das Rohr unter dem als variabel angenommenen Aberrationswinkel aufstellen, so müßte das brechende Mittel das ganze Rohr zu beiden Seiten des Fadenkreuzes ausfüllen, widrigenfalls wenigstens die austretenden Strahlen nicht mehr symmetrisch liegen zur Okularaxe. Bei Benutzung irdischen Lichtes läßt sich die brechende Schicht am vortheilhaftesten zwischen das Sehzeichen und Objectiv des Collimatorrohres einschieben.

23. Ich habe den Boscovich'schen Versuch in dieser letzteren Art angestellt und mich einer 10,5 Zoll langen Wassersäule bedient. Setzt man $\frac{g}{v}$ für die Nord-Süd-Stellung um Mittag $= 20''{,}4$; $d = 10,5$; $f = 15$; $n = 1,3$, so ergibt die Klinkerfues'sche Annahme eine Verschiebung

- 1) Fadenkreuz und Lupe genügen natürlich auch für sich; es handelt sich dann darum, das Flächenelement, welches die vom Stern ausgehende ebene Welle als Tangentialebene an die vom Fadenkreuz ausgesandte Kugelwelle mit dieser letzteren gemein hat, ins Auge zu schaffen. Befindet sich dabei die planparallele Schicht oberhalb des Fadenkreuzes, so ist natürlich die Richtung des »Strahles« gleichgültig. Das ist aber nicht der Fall, wenn sie zwischen Fadenkreuz und Ocular eingeschaltet wird.

des Bildes, die sich bei der Rotation des Apparates um 180° auf das Doppelte, nämlich auf:

$$2w = 15'',3$$

steigert. Als Sehzeichen benutzte ich statt des Spaltes einen Verticalfaden. Das Beobachtungsrohr ist mit einem Fadenmikrometer versehen, mittelst dessen ein beweglicher Verticalfaden sich an einem festen vorbeischieben läßt; die scheinbare Breite dieser Fäden beträgt etwa $5''$. Es wurde nun der Faden des Sehzeichens so zwischen die beiden Okularfäden gebracht, daß zwischen den drei dunklen Linien zwei schmale helle übrig blieben. Die Rotation des Apparates änderte an dieser Einstellung auch nicht das Mindeste.

Hrn. Klinkerfues Versuche mit Sternenlicht¹⁾ scheinen noch nicht abgeschlossen zu seyn, indess erklärt derselbe bereits, daß die etwaigen Verschiebungen seinen Erwartungen nicht entsprächen.

Klinkerfues hat die Delambre'sche Aberrationsconstante $= 20'',255$, die bekanntlich nach der Römer'schen Methode gewonnen ist, mit der Struve'schen $= 20'',449$ dadurch in Uebereinstimmung zu bringen gesucht, daß er in der letzten Formel unter $\frac{g}{v}$ die erstere und unter d die mittlere Glasdicke des Fernrohrobjectives versteht, und in der That erhält er einen mit der letzteren übereinstimmenden Werth. Ist nun aber die Glasmasse der Linse nur insoweit eines Einflusses fähig, als sie in der Mitte eine andere Dicke hat als am Rande, so ist derselbe zur Erklärung der in Rede stehenden Differenz nicht ausreichend.

Den vorstehenden Erörterungen gegenüber wird Hr. Kl. seine „aus dem Wesen der Wellenlehre“ hergenommenen Bedenken gegen die Richtigkeit der Fresnel'schen Erklärung wohl nicht länger aufrecht erhalten. Die Unterschiede zwischen Strahl und Wellennormale sind doch hier die nämlichen wie bei der doppelten Brechung, und ich halte

1) Die Aberration der Fixsterne. Leipzig 1867. — Göttinger Nachrichten 1870.

das Verhalten »der einfach brechenden Mittel mit extraordinärem Strahle« für instruktiv genug, um es etwa in Vorlesungen der Theorie jener mit Vortheil vorzuschicken.

24. Zum Abschlufs dieser Betrachtungen möchte ich einen von mir angestellten Interferenzversuch besprechen, dessen negatives Resultat gleichfalls die Fresnel'sche Hypothese bestätigt.

Es sei MM (Fig. 8, Taf. IV) eine dicke, planparallele und an der Hinterfläche belegte Glasplatte, der in einiger Entfernung ein ebener Metallspiegel SS annähernd parallel gegenüberstehe. Jeder auf die Platte fallende Strahl LA zerlegt sich im Punkte A in einen reflektirten Strahl AD und in einen gebrochenen AC . Letzterer erleidet in C eine Reflexion und tritt nach einer partiellen Brechung in B als Strahl BE (parallel zu AD) aus dem Glase aus. Am Spiegel erleiden beide eine Reflexion nach den Richtungen DG , resp. EH . Der erstere, der in A einfach gespiegelt worden, erleidet eine partielle Spiegelung in G — doch möge der entstehende Strahl vom Auge abgeblendet werden — zum Theil dringt er in das Glas ein und vereinigt sich nach zwei Transmissionen und einer innern Reflexion in K mit dem in der Nähe reflektirten Strahle EH , so dafs in der Richtung HF zwei nahezu parallele Strahlen mit wenig verschiedenen Amplitüden und einem kleinen Gangunterschiede zum Auge vordringen. Das entstehende Franzen-system ist das nämliche, das unter dem Namen des Jamin'schen bekannt ist; es möge irgendwie mittelst eines Fadenkreuzes fixirt werden. Die Stellung der Interferenzstreifen ändert sich nicht, wie auch der Apparat, der mit der Geschwindigkeit g im Raume fortschreitet, orientirt werde.

Es mögen nun zwei gleiche, planparallel abgeschliffene und mit gleichen planparallelen Platten verschlossene Röhren so zwischen die Spiegel gebracht werden, dafs nicht blofs jeder der beiden interferirenden Strahlen durch je ein Rohr hindurchgeht, sondern dafs auch der eine, als AD , bei seiner Entfernung von der Platte MM , der andere, als EH , bei seiner Annäherung an dieselbe das Rohr passirt.

Füllt man die Röhren mit Flüssigkeit, z. B. mit Wasser, so bleibt wiederum die Stellung der Franzen von jeder Drehung des Apparates unabhängig. Und doch giebt es unter diesen Stellungen zwei, für welche das Licht sich in der einen Röhre im gleichen Sinn, in der andern im entgegengesetzten Sinn bewegt wie diese selbst.

25. Ich gebe die Erklärung dieses Resultates unter der Annahme, daß man sich zur Hervorrufung der Interferenzstreifen eines einfacheren Apparates, etwa der Young'schen Oeffnungen oder der Billet'schen Halbblinsen bediene. Es sey SS (Fig. 9, Taf. IV) der Spiegel, der von einem Spalt L aus mittelst eines Collimatorrohres, vor dessen Objectiv sich ein Schirm mit den beiden Oeffnungen A, B befinde, beleuchtet werde. Die entstehenden Franzen mögen mittelst eines Fernrohres beobachtet und dessen Fadenkreuz auf die Mittelfranze eingestellt werden.

Es bleibt dann, wie aus den Bemerkungen unter 21 hervorgeht, auch bei der Bewegung des Apparates der scheinbare Spiegelungswinkel dem scheinbaren Einfallswinkel gleich, und wenn man den wirklichen Einfallswinkel e , den wirklichen Spiegelungswinkel r nennt, so hat sich unter 19 für letzteren die Relation ergeben:

$$r = e + 2 \frac{g}{v} \sin e,$$

vorausgesetzt, daß die Bewegung, wie wir annehmen wollen, in der Richtung des Lothes des Spiegels vor sich geht.

Denkt man sich jetzt in vorbeschriebener Weise die beiden Röhren eingeschoben, so sind die durch die Bewegung erzeugten weiteren Modificationen dreierlei Art.

Es ändert sich der Brechungsexponent des Inhaltes der Röhren, es ändert sich ihre Länge, und es ändern zugleich die Punkte der Spiegelung ihre Lage im Raume.

Gesetzt, nach Verlauf der Zeit, die das Licht in der Richtung AD braucht, um den Spiegel zu erreichen, sey dieser von D nach D' fortgerückt. In dem Augenblick ferner, wo Strahl BE den Spiegel trifft, befinde sich derselbe in E' , und endlich mögen die bei D' und E' gespiegelten

Strahlen die Ebene GH , die mit $KH \parallel DE$ den Winkel r bildet, in den Punkten G und H erreichen.

Zieht man ebenso $A'C \parallel DE$ und macht Winkel $B'A'C$ gleich e , dann ist $A'B'$ die Projection der ungebeugten Hauptwelle, und es bleibt nun zu untersuchen, unter welcher Bedingung die von ihr ausgehenden beiden Stöße im gleichen Augenblick auf der Ebene GH anlangen.

Diese Bedingung liegt offenbar in der folgenden Zeit-Gleichung:

$$\left(\frac{A'D}{v, v_1} - \frac{CE}{v}\right) - \left(\frac{E''H}{v, v_2} - \frac{D''K}{v}\right) + \frac{2(DD' - EE')}{v} + \frac{KG - B'C}{v} = 0,$$

wo:

$$v_1 = v' \left(1 + \frac{g}{v'} k \cos e\right), \quad v_2 = v' \left(1 - \frac{g}{v'} k \cos e\right)$$

bedeutet und durch $\frac{A'D}{v, v_1}$ angedeutet werden soll, daß die Strecke $A'D$ zum Theil mit der Geschwindigkeit v , zum Theil mit v_1 durchlaufen wird.

Zur Abkürzung werde $g \cos e = g'$ gesetzt.

Da Rohr I eine scheinbare Verlängerung, Rohr II eine Verkürzung erfährt, so erhält man leicht:

$$\frac{A'D}{v, v_1} - \frac{CE}{v} = L \left(1 + \frac{g'}{v'}\right) \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v}\right),$$

$$\frac{E''H}{v, v_2} - \frac{D''K}{v} = L \left(1 - \frac{g'}{v'}\right) \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v}\right),$$

wenn nämlich unter L die wirkliche Länge der Röhren verstanden wird.

Ferner ist:

$$KG = KH \sin r = [A'C - 2(DD' - EE') \sin e] \sin r,$$

$$\sin r = \sin e + 2 \frac{g}{v} \sin e \cos e,$$

$$A'C \sin r = B'C \left(1 + 2 \frac{g'}{v}\right),$$

und sonach nahezu:

$$\frac{KG - B'C}{v} = 2 \frac{g'}{v} \frac{B'C}{v} - 2 \frac{(DD' - EE')}{v} \sin^2 e$$

und:

$$\frac{KG - B'C}{v} + 2 \frac{DD' - EE'}{v} = 2 \frac{g'}{v} \frac{B'C}{v} + 2 \frac{(DD' - EE')}{v} \cos^2 e.$$

Andererseits erhält man:

$$DD' \cos e = g \left[\frac{AD}{v} + L \left(1 + \frac{g'}{v'} \right) \left(\frac{1}{v'} - \frac{1}{v} \right) \right],$$

$$EE' \cos e = g \left(\frac{AD}{v} + \frac{B'C}{v} \right),$$

folglich nahezu:

$$2 \frac{DD' - EE'}{v} \cos^2 e = 2 \frac{g'}{v} L \left(\frac{1}{v'} - \frac{1}{v} \right) - 2 \frac{g'}{v} \frac{B'C}{v}.$$

Es schreibt sich daher die Bedingungsgleichung auch so:

$$L \left(1 + \frac{g'}{v'} \right) \left(\frac{1}{v'} - \frac{1}{v} \right) - L \left(1 - \frac{g'}{v'} \right) \left(\frac{1}{v'} - \frac{1}{v} \right) + 2L \frac{g'}{v} \left(\frac{1}{v'} - \frac{1}{v} \right) = 0.$$

Ersetzt man v'_1 und v'_2 durch ihre Werthe und reducirt, so kommt schliesslich:

$$2 \frac{g}{v} \left[n(1-k) - \frac{1}{n} \right] \cos e = 0.$$

Wenn man erwägt, dass ausser den in diesen Aufsätzen besprochenen Erfahrungen auch die bereits citirten Versuche Fizeau's mit künstlichen Geschwindigkeiten die Hypothese Fresnel's bestätigen, so darf dieselbe wohl als Ausdruck des Naturgesetzes betrachtet werden.

III. *Mineralogische Mittheilungen;* *von G. vom Rath.*

(Fortsetzung von S. 260.)

51. Ueber die chemische Zusammensetzung einiger Orthoklase.

Von den orthoklastischen Feldspathen, deren Analysen im Folgenden mitgetheilt werden, scheinen die einen (Bolton und Pargas) unsere Aufmerksamkeit zu verdienen wegen ihrer ungewöhnlichen Mineralassociation, die andern (Monzoni

und Laurvig) wegen ihrer abnormen Zusammensetzung, namentlich wegen ihres hohen Natrongehalts.

a) *Feldspath von Bolton in Massachusetts*, Ver. St., wird begleitet von grossen Krystallen grünen Augits und braunen Titanit's. In der vorliegenden Stufe aus dem Kgl. Min. Museum zu Berlin, deren Ansicht ich Hrn. G. Rose verdanke, bildet der Feldspath einzelne Krystalle von mehr als Zollgrösse neben andern sehr viel kleineren. Die letzteren sind einfach, eine Combination der Flächen TT' , M , P , oo' , y ; die grösseren sind zum Theil Zwillinge und Drillinge, deren Zwillingsebene n ist. Die Oberfläche der Krystalle ist rauh und drusig, die Kanten gerundet. Unzweifelhaft war die Druse ursprünglich mit Kalkspath erfüllt. Unter der lichtgelblichen Oberfläche erscheint der Feldspath rein weiss, halb durchsichtig, die Spaltungsflächen P und M ein wenig gewölbt, doch ohne jede Spur von Zwillingstreifung oder (durch die Lupe oder das Mikroskop erkennbare) Albitlamellen. Farbe und Glanz dieses Feldspaths erinnert an Adular. Die Augite bilden rectanguläre Prismen, deren Kanten durch das verticale rhombische Prisma abgestumpft werden. Ihre Oberfläche ist gleichfalls gerundet, namentlich der Scheitel löcherig und wie ausgehöhlt; ein Ansehen, welches die frühere Umhüllung durch Kalkspath beweist.

Spec. Gew. 2,586 (bei 17° C.). Glühverlust 0,05 Proc.; zerspringt beim Glühen.

	I	II	Nittel	
Kieselsäure	65,23	—	65,23	Ox. 34,789
Thonerde	19,26	(20,23)	19,26	8,993
Kalk	0,53	0,30	0,42	0,120
Kali	—	11,80	11,80	2,004
Natron	—	2,98	2,98	0,760
			99,69.	

Sauerstoffproportion 0,965 : 3 : 11,605.

Nicht eine Spur von Eisen oder Magnesia war nachweisbar. Ungeachtet seiner ungewöhnlichen Association mit Augit und seines etwas abnormen Aussehens weicht

demnach dieser Feldspath nicht wesentlich von den gewöhnlichen Vorkommnissen ab. Von einer lamellaren Verwachsung, resp. eingeschalteten Albitlamellen ist an diesem Feldspathe nichts wahrzunehmen. Eine parallel der Fläche *P* geschliffene dünne Platte erwies sich unter dem Mikroskop selbst bei polarisirtem Lichte gleichartig. Wir müssen es deshalb dahingestellt seyn lassen, ob auch hier das Natron auf Albit deutet, oder ob dasselbe zur Constitution des Feldspaths gehört. Ein Orthoklas, welcher auf 3 Mol. Kalium, 1 Mol. Natrium enthielte (oder ein Gemenge von 3 Mol. reinen Kalifeldspath mit 1 Mol. Albit), würde folgende Zusammensetzung zeigen:

Kieselsäure 65,58; Thonerde 18,73; Kali 12,87; Natron 2,82. Für 3 Gewth. Orthoklas + 1 Gewth. Albit wird die Zusammensetzung: Kieselsäure 65,62; Thonerde 18,74; Kali 12,69; Natron 2,95. Der Feldspath scheint zu Bolton doch nur selten zu seyn, da Dana in dem seiner ausgezeichneten *Mineralogy* beigefügten Verzeichnisse der *American localities of minerals* denselben nicht aufführt, wohl aber folgende Mineralien: Skapolith, Petalit, Spnen, Augit, Nuttallith, Diopsid, Boltonit, (Forsterit) u. a. s. *Mineralogy*, S. 769. — Ein sehr ähnliches Vorkommen von Feldspath in Begleitung von schönen Augit-, Skapolith- und Titanit-Krystallen findet sich in der Nähe von Diana, Lewis-City, New-Jersey. Farbe, Glanz, Oberflächenbeschaffenheit sind vollkommen dieselben wie zu Bolton. Ein etwa $2\frac{1}{2}$ cm grosser Krystall auf dem wir vorliegenden Handstücke ist merkwürdig durch die sehr ausgedehnte Entwicklung des Orthopinakoid's *k*. Die Augite sind Zwillinge und zeigen die Ausbildung der Fassaite vom Monzoni.

b) *Feldspath von Pargas, Finnland*; findet sich wie die beiden vorigen in Begleitung von Augit. Der Feldspath weifs, die Krystalle zuweilen 2^{cm} gross, meist viel kleiner, sind mit einem mattweissen Ueberzuge bedeckt und von milchigem Ansehen. Die Kanten gerundet; das Innere sehr frisch. Beobachtete Flächen *TT'*, *zz'*, *M*, *P*, *y*, *oo'*, *nn'*. Der Augit, von dunkelgrüner Farbe, bildet kleinere Kry-

stalle (achtseitige Prismen). Während das Stück auf der Oberseite die genannten Mineralien wohlausgebildet zeigt, besteht die Masse selbst aus einem körnigen Gemenge von Feldspath und Augit, zu denen Kalkspath und sehr kleine Titanitkörnchen hinzutreten.

Spec. Gew, 2,576 (bei $17\frac{1}{2}^{\circ}\text{C.}$). Glühverlust 0,13.

	I	II	Mittel	
Kieselsäure	64,96	—	64,96	Ox. = 34,645
Thonerde	19,40	(19,69)	19,40	9,058
Kalkerde	0,49	(0,35)	0,49	0,140
Magnesia	0,25	nicht best.	0,25	0,100
Kali	—	12,80	12,80	2,174
Natron	—	2,32	2,32	0,599
			100,22.	

Sauerstoffproportion 1,00 : 3 : 11,47.

Der Feldspath von Pargas steht demnach demjenigen von Bolton sehr nahe. Zugleich mit den beiden vorgenannten Orthoklasen übersandte mir G. Rose ein früher durch Dr. Krantz dem Kgl. Min. Museum zu Berlin zugekommenes interessantes Gestein aus den Pyrenäen; dasselbe ist ein Gemenge von vorherrschendem, weißem Feldspath in 5 bis 10^{mm} großen Körnern und grünem Augit, in prismatischen Krystallen bis 10^{mm} groß, dazu spärliche kleine Krystalle von Titanit. Die Etiquette des von Hrn. Boubée vor einigen Jahrzehnten gesammelten Gesteins trägt die Bezeichnung *Dolérite granitoide*. Etwas Näheres über die Art und Weise des Vorkommens war leider nicht zu ermitteln. Das Gestein scheint eine neue Art des Syenits zu seyn, welche statt der Hornblende Augit enthält. Ich hoffe später das Ergebniss der Analyse auch dieses Feldspaths nachtragen zu können.

Wir lernen nun zwei orthoklastische Feldspathe kennen, welche eine abnorme Zusammensetzung besitzen und wohl nur als eine Mischung von Orthoklas, Albit und Anorthit aufgefasst werden können.

c) *Feldspath des Syenits von Laurvig*, ist der vorherrschende Gemengtheil des berühmten Gesteins, welches die

Küste vom Langesund- bis zum Christianiafjord bildet. Die Krystalle des Feldspaths, bläulich- bis bräunlichgrau, haben eine ungewöhnliche Ausbildung, indem sie fast allein umschlossen werden von den Flächen TT und y . So erblickt man auf dem Gesteinsbruche meist linsenförmige Partien, deren Umriss entweder rhomboidisch ist und einem Durchschnitt parallel M entspricht, oder rhombisch, wenn der Bruch der Fläche P parallel geht. Zuweilen erblickt man auch quadratische oder rectanguläre Umrisse, wenn nämlich der Durchschnitt der Absonderungsfläche k entspricht. Auf diesen letzteren breiten Flächen zeigt unser Feldspath einen eigenthümlich fettartigen Glanz. Das Ansehen der Durchschnitte parallel k ist zuweilen so verschieden von den Spaltungen parallel P und M , dafs man leicht versucht seyn könnte, jene für Eläolith zu halten. Die Spaltflächen P sind ungestreift; doch in eigenthümlicher Weise leicht gebogen oder geknickt, wohl eine Folge der nicht völlig parallelen Verwachsung der Krystalltheile. Schleift man dünne Plättchen (parallel P oder M), so zeigen dieselben ein schön blaues Farbenspiel. Ueber die eigenthümliche Natur des Feldspaths aus dem Zirkonsyenit, welcher wegen seiner anomalen chemischen Constitution schon lange die Aufmerksamkeit auf sich gezogen, giebt die mikroskopische Betrachtung einer parallel P geschliffenen Platte bemerkenswerthe Aufschlüsse. Schon bei gewöhnlichem Lichte bemerkt man, dafs die Masse nicht homogen, vielmehr eine innige Verbindung von gewundenen Lamellen ist, welche durchaus an die perthitähnliche Verwachsung von Orthoklas und Albit erinnern. Viel deutlicher noch tritt diese flammenförmige Zeichnung der P fläche bei polarisirtem Lichte hervor, indem nun die annähernd dem Orthopinakoid parallel eingeschalteten Lamellen in verschiedenen, wechselnden Farben erglänzen. Diese mikroskopische Ansicht erklärt die abnorme chemische Constitution unseres Feldspaths sogleich. Zwar habe ich die den triklinen Feldspatharten charakteristische Zwillingstreifung nicht wahrnehmen können, sey es, dafs dieselbe hier allzufein, oder überhaupt nicht vorhanden

ist. Doch ist die Analogie mit dem Perthit so vollkommen, daß man wohl berechtigt ist, den syenitischen Feldspath von Laurvig für ein mechanisches Gemenge von Orthoklas und Plagioklas zu halten. Der letztere kann hier indeß nicht Albit, sondern er muß Oligoklas seyn, d. h. eine isomorphe Mischung von Albit und Anorthit. Die eigenthümliche Zwillingsverwachsung, welche G. Rose zuerst vom Feldspath im Syenitporphyr von Christiania beschrieb, findet sich auch im Syenit von Laurvig. Die Individuen sind nämlich mit dem Orthopinakoid (der Zwillingssebene) verbunden; zuweilen durchkreuzen sie sich. Schwarze Hornblende bildet den zweiten wesentlichen Gemengtheil; unter den vielen accessorischen Mineralien sind vor Allen zu nennen Eläolith und Zirkon; Magnesiaglimmer ist in geringer Menge neben Hornblende vorhanden.

Spec. Gew. 2,619 (bei 15° C.). Glühverlust 0,31.

	I.	II.	Mittel	
Kieselsäure	62,81	—	62,81	Ox. = 33,499
Thonerde	23,21	(23,54)	23,21	10,837
Kalk	2,60	(2,28)	2,60	0,743
Magnesia	0,07	nicht best.	0,07	0,028
Kali	—	4,23	4,23	0,718
Natron	—	7,54	7,54	1,946
			100,46.	

Sauerstoffquotient 0,948 : 3 : 9,280.

Vergleichen wir diese Analyse mit der unter i aufgeführten des Oligoklas vom Hartenberge, so finden wir, daß jener plagioklastische und dieser orthoklastische Feldspath in Bezug auf ihre chemische Zusammensetzung nicht allzu verschieden sind. Es ist dieß gewiß eine recht merkwürdige Thatsache. Eine wiederholte Prüfung des Plagioklases vom Hartenberge (s. oben) unter dem Mikroskop bei pol. L. zeigte denselben aus überaus feinen Zwillingslamellen bestehend, doch ohne eine Spur von Orthoklas-Einmischung oder Perthitstreifen. So ähnlich demnach auch beide in chemischer Hinsicht sind, so verschieden sind sie in Bezug auf ihre mineralogische Constitution.

Nur in annähernder, nicht in vollkommen befriedigender Weise gelingt es, die vorstehende Analyse durch eine Mischung von 1 Gew.-Th. Orthoklas, 3 Gew.-Th. Albit, 1 Gew.-Th. Anorthit darzustellen:

Kieselsäure 62,69; Thonerde 22,82; Kalk 4,02; Kali 3,38, Natron 7,09; Sauerstoffproportion 1 : 3 : 9,495.

Für eine Mischung von 1 Mol. Orth., 3 Albit, 2 Anorthit berechnet sich die folgende Zusammensetzung:

Kieselsäure 62,48; Thonerde 22,94; Kalk 4,16; Kali 3,50; Natron 6,92. Sauerstoffproportion 1 : 3 : 9½.

Da der untersuchte Feldspath ein orthoklastischer ist, so überwog bei Bestimmung der Krystallform die geringe Menge des Orthoklas die vierfach größere des Plagioklas.

Schon früher wurden durch Gmelin und Scheerer Feldspathe aus dem Syenitgebiet des südlichen Norwegens von Frederiksvärn und Laurvig untersucht. Die betreffenden vier Analysen (s. Dana, Min. S. 357) weisen gleichfalls einen sehr hohen Natrongehalt auf (6,1 bis 7,1 Proc. wenig Kalk (0,2 bis 0,4 Proc.). Es darf als eine Bestätigung unserer Auffassung der Constitution dieses syenitischen Feldspaths angesehen werden, daß in den von Gmelin und Scheerer untersuchten, kalkärmeren Feldspathen der Gehalt an Thonerde geringer, an Kieselsäure bedeutender ist, als bei den von mir untersuchten Krystallen, zum Beweise nämlich, daß die Kalkerde durch eine Beimischung von Anorthit zu erklären ist. — Für die Petrographie scheint das Ergebniss unserer Untersuchung des Feldspaths von Laurvig nicht ohne Interesse zu seyn. Das berühmte mineralreiche Gestein könnte, der Analyse zufolge, die vierfache Menge von Oligoklas wie von Orthoklas ausgeschieden zeigen; nichtsdestoweniger findet sich der triklin Feldspath nicht frei, wie doch in manchen andern Syeniten, sondern nur in dieser eigenthümlichen Verwachsung mit Orthoklas. Ueber die Gründe, welche hier bewirken, daß der Feldspath den Plagioklas in Lamellen sich einschaltete, dort aber demselben gestatteten, in selbständigen Krystall-

körnern aufzutreten, können wir nicht einmal eine Vermuthung aufstellen.

d. Feldspath des Syenits vom Monzoniberge (Toal dei Rizzoni) ¹⁾ Fassa, bildet den weit überwiegenden Gemengtheil des schönen grobkörnigen Geisteins, welches zuweilen fast als ein mehr oder weniger reines Feldspathgestein zu bezeichnen ist. Der lichtgraue Feldspath bildet $\frac{1}{2}$ bis 2 Cent. große Körner; wenig schwarze Hornblende, sehr wenige kleine Titanitkörnchen; kein Quarz. Die grobkörnige Varietät des Monzonisyenits ist dem Gestein von Laurvig nicht ganz unähnlich, ja es ist jener, freilich in seinem Vorkommen beschränkte Syenit einer der wenigen, welche sich an Schönheit mit dem norwegischen vergleichen lassen. In der Erwartung, es möge eine, dem Laurviger Feldspath ähnliche chemische und mineralogische Constitution eine gemeinsame Eigenthümlichkeit des Orthoklases gewisser Syenite seyn, untersuchte ich auch das in Rede stehende Vorkommen vom Monzoni. Das Gestein schien bei erster Betrachtung keinen Plagioklas zu enthalten, eine genauere Untersuchung liefs indefs einige Körner mit sehr feiner Streifung wahrnehmen.

- 1) Auf der nördlichen Seite jenes merkwürdigen Berges erblickt man mehr Hypersthenit (oder Gabbro) als Syenit; steigt man aber von der hohen Scharte im Monzonikamme, der Fundstätte des Axinit's im Hypersthenit gegen Süd in den Toal dei Rizzoni hinab, so findet man bald jene schöne Varietät des Syenits anstehend. Veränderte, doch noch deutlich geschichtete Kalkmassen sind im Eruptivgestein eingeschlossen, und bilden die Fundstätten des schwarzen Spinells, des Fassaits des Batrachits, Vesuvians, braunen Granats u. a. Auf dem Wege hinab gegen Moëna durchschreitet man den obersten Thalcirkus des Toal della Foja, welcher vorzugsweise aus Syenit besteht. Hier liegt die Hauptfundstätte des Pleonasts und Brandisits, welche als ein körniges Gemenge ein sphäroidisches, etwa 3 Met. im Durchmesser haltendes Nest im Syenit bilden. Nahe dabei ist auch eine ergiebige Pyrgom-Fundstätte. An diesem Südabhange des Monzoni erblickt man einen vielfachen Wechsel von Syenit und Kalkstein. Auf den Contactstellen dieser Gesteine liegen die berühmten Monzoni-Mineralien. Ist die umhüllte Kalkmasse nur klein, so ist sie auch wohl fast gänzlich in ein Silicatgemenge umgeändert. In der Val Pesmeda bildet rother Porphyrit seltsame Verzweigungen im Marmor. Ueber den nördlichen Abhang des Monzoni s. diese Mittheil. Forts. IV, 15. Ann. Bd. 128, S. 44.

Die mikroskopische Prüfung bei polar. L. ergab, daß auch dieser Feldspath eine Menge von kleinen Plagioklaskörnern eingeschlossen enthält. Hier waren es keine Streifen wie beim vorigen, sondern der feingestreifte Plagioklas liegt scheinbar regellos, doch parallel verwachsen im Feldspath zerstreut. Zur Analyse wurde mit Sorgfalt jedes kleine Krystallstückchen unter der Lupe untersucht und nur solche mit ungestreiften Spaltflächen zur Analyse verwandt. Indefs zeigte das Mikroskop auch noch hier Einmengungen und Umsäumungen von feingestreiften Theilen.

Spec. Gew. 2,565. Glühverlust 0,89 (zerspringt beim Glühen).

	I	II	Mittel	
Kieselsäure	63,36	—	63,36	Ox. = 33,792
Thonerde	21,04	21,33	21,18	9,889
Kalk	1,79	1,52	1,66	0,474
Kali		8,40	8,89 ¹⁾	1,510
Natron		4,63	4,91	1,267
			<u>100,00.</u>	

Sauerstoffproportion 0,986 : 3 : 10,251.

Ein der vorstehenden Analyse fast bis zu den Grenzen der Beobachtungsfehler nahekommendes Resultat erhalten wir durch eine Mischung von 5 Gew.-Th. Orthoklas, 4 Albit, 1 Anorthit:

Kieselsäure 64,06; Thonerde 20,75; Kalk 2,01; Kali 8,46; Natron 4,72.

Sauerstoffproportion 1 : 3 : 10,579.

Mischen wir hingegen 5 Mol. Orth., 4 Alb., 2 An., so ergibt sich:

Kieselsäure 63,96; Thonerde 20,78; Kalk 2,06; Kali 8,65; Natron 4,55.

Sauerstoffproportion 1 : 3 : 11⁶/₁₁.

Die Analyse bestätigt demnach das Ergebniss der mikroskopischen Untersuchung. Die nicht unbedeutende Menge

1) Da bei Bestimmung der Alkalien ein kleiner Verlust stattfand, so wurden ihre Werthe so weit erhöht, daß die Summe der Bestandtheile 100 betrug.

des Kalks bedingt auch hier ein Steigen der Thonerde und ein Sinken der Kieselsäure, zum Beweise, daß der Plagioklas, welcher diesem Feldspath beigemengt ist, eine Mischung von Albit und Anorthit ist. In gleicher Weise dürfen wir uns wohl andere orthoklastische Feldspathe konstituirt denken, welche neben vielem Natron auch Kalkerde enthalten, z. B. den Loxoklas.

52. Ueber den Ersbyit von Pargas.

Wenn die Theorie Tschermak's in Betreff der Kalknatron-Feldspathe richtig ist, — und die vorhergehenden Untersuchungen lassen wohl kaum noch einen Zweifel an ihrer Wahrheit, — so kann es weder einen kalkfreien Oligoklas, noch einen natronfreien Labrador geben. Diesen letzteren glaubte man indeß vielfach in dem Ersbyit vom Hofe Ersby, Insel Hochland, an der finländischen Küste gefunden zu haben. Es schien mir deshalb, um unsere Theorie über jeden Zweifel zu erheben, dringend geboten, jenes seltene Mineral einer erneuten Untersuchung zu unterwerfen. — Daß in Bezug auf den Ersbyit in der Wissenschaft eine große Verwirrung herrscht, wird aus den folgenden Angaben einleuchten. Im körnigen Kalke von Pargas finden sich neben manchen andern Mineralien Orthoklas (dessen chemische Zusammensetzung bereits oben mitgetheilt wurde) und mehrere Arten von Skapolith. Dieser letztere bildete bereits 1820 den Gegenstand der Untersuchungen N. A. Nordenskjöld's (Finlands Mineralien; Schweigger's Journ. f. Chemie u. Physik, Bd. 31, S. 423, 1821). Nordenskjöld unterschied folgende Arten 1) gemeinen Skapolith, 2) Pseudoskapolith, 3) wasserhaltigen Skapolith und 4) wasserfreien Skapolith oder wasserfreien Skolezit. Ueber 1) vgl. Dana's Paranthin, Miner. S. 318. Der Pseudoskapolith ist nach Nordenskjöld's Beschreibung ein mechanisches Gemenge von Augit und Skapolith in der Form des letzteren. Der wasserhaltige Skapolith (mit 3,3 Proc. Wasser) scheint nur ein verändertes Mineral zu seyn. Was die 4. Art betrifft, welche er zuerst wasserfreien Skapolith, dann wasserfreien Skolezit nannte, so fand Nordenskjöld die Zu-

sammensetzung wie folgt: Kieselsäure 54,13; Thonerde 29,23; Kalk 15,46; Wasser 1,07. Als besonderes Kennzeichen hebt Nordenskjöld hervor, daß nur Eine Spaltungsrichtung vorhanden sey (eine vielleicht irrige Angabe). Vollkommene Klarheit und größere Härte solle das Mineral vom Skapolith unterscheiden. Diesen wasserfreien Skolezith nannte Ad. Er. Nordenskjöld in seiner Beschreibung der finländischen Mineralien (1853) Ersbyit, indem er zugleich feldspathähnliche Krystalle beschrieb, deren zwei Spaltrichtungen den Winkel von $90^{\circ} 22'$ bilden sollten. Ihm zufolge wäre der Ersbyit ein trikliner Feldspath, und zwar, zufolge der Analyse seines Vaters, der wahre natronfreie Labrador — eine Ansicht, welche auch bereits von Frankenheim auf Grund jener Analyse ausgesprochen worden war. Nicht alle Mineralogen schlossen sich freilich der letztgenannten Auffassung an: Des Cloizeaux hielt es für wahrscheinlich, daß die von Nordenskjöld dem Sohne gemessenen Spaltungsrichtungen genau rechtwinklig sind, und der Ersbyit mit dem Skapolith identisch ist, welcher Ansicht sich auch Tschermak anschliesst. Dana hält das Mineral für einen veränderten Orthoklas.

Gewiss gehören die vom jüngern Nordenskjöld gemessenen Krystalle nicht dem von seinem Vater analysirten Mineral an. Wenn sich nun herausstellt, daß die Analyse ungenau, daß ferner gewöhnliche Orthoklaskrystalle (irrtümlich für triklin genommen) jener ungenau untersuchten Substanz zugeschrieben wurden, so erklärt sich die vorliegende unerfreuliche Verwirrung. Durch Hrn. G. Rose wurde mir ein Stück des sehr seltenen Ersbyit zur Verfügung gestellt, welches von Nordenskjöld's eigener Hand als »wasserfreier Skolezith« bezeichnet war.

Der Ersbyit ist durchwachsen von schwärzlichgrünem Augit und (in geringer Menge) von braunem Titanit. Dazu gesellt sich in einem Theile des Stücks blättriger Kalkspath, auf dessen Trennung mit Sorgfalt geachtet wurde. Der Ersbyit ist farblos, vollkommen frisch. Krystallflächen fehlen, doch spaltet die Substanz sehr deutlich und mit glei-

cher Vollkommenheit in zwei aufeinander senkrechten Richtungen. Diese Spaltflächen setzen über einen ansehnlichen Theil des Stücks fort, wenngleich sie vielfach durch Augit-Einmengungen unterbrochen werden. Hierdurch gewinnt es zuweilen den Anschein, als ob eine Spaltfläche über die andere vorherrsche, wodurch vielleicht Nordenskjöld's irrigte Angabe sich erklärt. Spec. Gew. 1,723 (bei 17° C.). Glühverlust 0,58 Proc.

	I	II	Mittel	
Kieselsäure	44,26	—	44,26	Ox. = 23,605
Thonerde	30,40	30,33	30,37	14,180
Kalk	(18,98)	20,17	20,17	5,763
Magnesia	0,15	nicht best.	0,15	0,060
Kali	—	1,15	1,15	0,195
Natron	—	2,75	2,75	0,709
			98,85.	

Sauerstoffproportion (Ca O , Mg O , $\text{K}_2 \text{O}$), $\text{Al}_2 \text{O}_3$, Si O_2
 = 2,847 : 6 : 9,988.

Wenn wir — eine Annahme, welche mir sehr wahrscheinlich ist — den Verlust der Analyse dem Kalk oder den Alkalien zulegen, so erhalten wir fast genau die Proportion 3 : 6 : 10, und können dem Ersbyit die Formel $3 \left(\begin{smallmatrix} 7 \\ 8 \\ 1 \end{smallmatrix} \text{Ca O} \right), 2 \text{Al}_2 \text{O}_3, 5 \text{Si O}_2$ geben. Derselben würde folgende Zusammensetzung entsprechen: Kieselsäure 44,39; Thonerde 30,42; Kalk 21,75; Natron 3,44. Sowohl die Spaltung als auch die chemische Zusammensetzung schliessen demnach den Ersyit von den feldspathähnlichen Mineralien aus und reihen ihn den Skapolithen an. Die gefundene Mischung steht derjenigen des „Wernerits“ von Pargas am nächsten, welcher in Krystallen, begleitet von Augit und Apatit, im Kalkspath eingewachsen ist (s. d. Ann. Bd. XC, S. 101). Es ist bekannt, dass die Gruppe der Wernerite oder Skapolithe in ihrer Zusammensetzung manches Aehnliche mit den Kalknatron-Feldspathen zeigt. Die Bestandtheile, Kieselsäure, Thonerde, Kalk, Natron, sind dieselben, ebenso finden wir die Menge der Kieselsäure und das Verhältniss von Kalk und Natron schwankend. Während aber bei den

Feldspathen das Aequivalentverhältniss von Kalk und Natron zur Thonerde stets dasselbe bleibt, ist es bei den Skapolithen wechselnd. Es ist sehr wahrscheinlich (was schon von Tschermak angedeutet wird), dass auch die Skapolithe sich als intermediäre Mischungen auffassen lassen. In der That, wenn wir die drei am Vesuv und im phlegäischen Gebiete vorkommenden Glieder der Skapolithgruppe, den Mejonit, Mizzonit und Marialith vergleichen, so finden wir auch hier mit der Zunahme der Kieselsäure (41,6; 54,7; 62,7 Proc.) eine Abnahme der Kalkerde (24,1; 8,8; 4,6 Proc.), und wiederum eine Zunahme der Alkalien. Indefs die Lösung der schwierigen Frage nach der rationellen Zusammensetzung der skapolithartigen Mineralien muss einer erneuten Untersuchung vorbehalten bleiben. Was den Ersbyit betrifft, so lehrt unsere Analyse, dass er kein Labrador ist, und demnach der »natronfreie« Labrador noch nicht gefunden ist und wahrscheinlich nicht existirt.

53. Ueber ein Vorkommen von Sahlit (Kalkmagnesiaseisen-Augit) in den Penninischen Alpen.

Als ich vor einem Jahre auf Wunsch des Hrn. Dir. H. Gerlach ¹⁾, zur Zeit in Massa marittima, eine von ihm gesammelte Auswahl von Gesteinen aus der Centralmasse der Dentblanche untersuchte und beschrieb, wurde meine Aufmerksamkeit namentlich von einigen, theils körnigen, theils halbkrySTALLINISCHEN, theils dichten Kalken in Anspruch genommen, welche aus Valpellina stammen, woselbst sie Einlagerungen im Glimmer- und Hornblendschiefer bilden. Dieser Kalkstein ist selten rein, vielmehr meist durch Einmengenungen verunreinigt, und zwar von Graphit und einer Augitvarietät. — Der Graphit fehlt fast nie, bildet zuweilen bis 2^{mm} grosse Blättchen, welche sich nicht selten zu Fasern

1) Hr. Gerlach aus Bödefeld bei Brilon, welchem wir eine vortreffliche geol. Karte und Beschreibung der Penninischen Alpen verdanken (Denkschrift. d. Schweiz. Naturf. Ges. Bd. XXII, 1869), fand am 7. Sept. d. J., während er mit geolog. Untersuchungen im obern Wallis beschäftigt war, leider einen frühen Tod.

verbinden, genau so wie die Glimmerblättchen im Gneiss. Neben dem Graphit stellt sich etwas brauner Glimmer ein. Der Augit, welcher nicht in allen, sondern nur in einzelnen (nach Gerlach den tiefern) Kalklagern erscheint, bildet gerundete, wie angeschmolzen aussehende Körner, meist nur $\frac{1}{2}$ bis 1^{mm} groß, theils von bläulichgrüner, theils von weißgrauer Farbe. Beide Färbungen sind an demselben Korne vereinigt, und zwar ist der Kern weißgrau, die Hülle licht blaugrün. Leicht lösen sich die Silikatkörner aus dem Kalksteine, glattflächige Hohlräume hinterlassend. Nur nach vielem vergeblichen Suchen gelang es, einige weniger stark gerundete Körner zu finden, an welchen Krystallflächen zu bestimmen waren, und zwar des verticalen Prismas des Augits nebst Ortho- und Klinopinakoid. Besonderes Interesse erweckte die Spaltbarkeit der fraglichen Körner und Krystalle. Deutlich sind die beiden Spaltungsrichtungen, welche dem verticalen Prisma parallel gehen, dazu tritt eine undeutliche, dem Klinopinakoid entsprechende. Ausserdem glaubt man eine sehr vollkommene Spaltbarkeit parallel einer basischen Fläche zu bemerken, welche den Körnern ein fremdartiges Ansehen giebt, so daß ich Anfangs ein noch unbekanntes Mineral vermuthete. Diese Absonderungsfläche, welche mindestens gleich vollkommen ist, wie die erste Spaltungsrichtung *P* des Feldspaths, besitzt eine horizontale, demnach der Orthoaxe parallele Streifung. Eine genauere Untersuchung lehrte indeß, daß trotz des täuschenden Ansehens keine Spaltbarkeit, sondern lediglich eine Zusammenwachsungsfläche vorliege. Dieselbe tritt auffallend unregelmäßig auf, oft sehr dünne, fast glimmerähnliche Lamellen erzeugend, oft erst in weiteren Abständen sich wiederholend, zuweilen auch in einem Korne fehlend. Stets zeigt sich auf der Trennungsfläche die horizontale Streifung. Dieselbe Zusammenwachsungsebene findet sich an den großen weißen Augit- (Diopsid-) Krystallen von Achmatowsk (hier indeß ohne die horizontale Streifung). In Betreff dieses letzteren Vorkommnisses konnte ich mich überzeugen, daß die Verwachsungsfläche auf der hintern Seite des Endes liegt, wenn man nämlich das gewöhnliche Hemioktaëder (schiefe Prisma),

dessen Kante = $120^{\circ} 30'$, nach vorne wendet. Es ist demnach wahrscheinlich, das es sich mit dem Augit aus Valpellen in gleicher Weise verhält, wenngleich hier der Nachweis nicht geführt werden konnte, vielmehr nur angenähert die Kante zwischen der Absonderungsfläche und einer Fläche des verticalen Prismas = 100° gemessen wurde. Vor dem L. leicht und mit heftigem Aufschäumen schmelzbar. Spec. Gew. 3,329 (bei 17° C.). Glühverlust 0,14 Proc. Die Analyse ergab:

Kieselsäure	54,02	Ox. 28,881
Kalk	24,88	7,109
Magnesia	13,52	5,408
Eisenoxydul	8,07	1,793
Thonerde	0,20	0,093
	<u>100,69.</u>	

Sehen wir von der Thonerde ab, so ergibt sich, daß der Sauerstoff, welchen wir uns als mit der Kieselsäure verbunden denken, doppelt so groß ist wie die Sauerstoffmengen, der Basen, daß ferner Ox. von $\text{CaO} = \text{Ox. von MgO} + \text{FeO}$, und Ox. von MgO ungefähr das Dreifache des Ox. von FeO; daraus die Formel ($\frac{1}{3}\text{FeO}$, $\frac{2}{3}\text{MgO}$, $\frac{1}{2}\text{CaO}$), SiO_2 oder $\text{Fe Mg}_3 \text{Ca}_4 \text{Si}_5 \text{O}_{24}$, welcher folgende Mischung entsprechen würde:

Kieselsäure 53,57; Kalkerde 25,00; Magnesia 13,39;
Eisenoxydul 8,04.

Der Augit aus Valpellen steht demnach in seiner Mischung sehr nahe dem von Erdmann untersuchten grünen Malakolith von Tunaberg, sowie demjenigen von Björmyresweden in Dalarne nach H. Rose u. a.

Den Thalgrund von Valpellina (welcher sich bei Aosta zur Dora öffnet) nehmen Glimmerschiefer und glimmerreicher Gneifs ein. In einer Breite von 3 bis 4 Kilom. erstreckt sich diese Glimmerschieferzone vom Dorfe Valpellen über Bionnaz nach la Lechère und setzt noch weiter gegen Nordost in die vergletscherten Gebirge fort. Mit den genannten Schiefen ist auch Hornblendschiefer verbunden; zur Hornblende tritt häufig dunkler Glimmer, ein Plagioklas und Quarz. Diese schiefrigen Gesteine werden

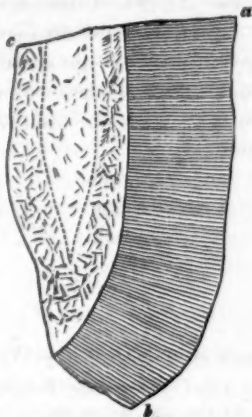
durchsetzt von gangähnlichen Ausscheidungen eines grofskörnigen granitähnlichen Gemenges aus bläulichweissem Feldspath, deutlich gestreiftem weissem Oligoklas und Quarz bestehend, ein Gestein, welches in gangähnlichen Massen in den Alpen viel verbreitet ist. Jene Hornblende- und Glimmerschiefer sowie Gneisse führen die oben erwähnten Kalk-einlagerungen, welche meist nur eine geringe Mächtigkeit haben, doch mit grofser Regelmäfsigkeit weit verfolgt werden können (nach H. Gerlach). Der Graphitgehalt der Kalklager von Valpellina läfst sich vergleichen dem gleichfalls graphitführenden Marmor mehrerer Punkte der Ver. St., z. B. von Amity N.-Y., Grenville, C. E.

54. Ein interessanter Wollastonit-Auswürfling vom Monte-Somma¹⁾.

Bekanntlich sind die Gesteinsblöcke, welche den Wollastonit enthalten, gewöhnlich ein Aggregat von lichtgrünem Glimmer, Augit, Granat, Kalkspath, zu welchen zuweilen auch Leucit sich gesellt. In andern Stücken bilden Wollastonit und Melanit ein grofskörniges Gemenge und zugleich eines der prächtigsten Sommagesteine. Man kann in diesen Fällen wohl *vermuthen*, dafs der Wollastonit ein durch die vulkanische Thätigkeit hervorgebrachtes Erzeugnifs ist, entstanden aus den Kalkstücken, welche in so grofser Menge dem Tuffe der Somma eingemengt sind, in gleicher Weise wie wir es für Granat, Vesuvian, Mejonit Anorthit etc. annehmen: doch recht augenscheinlich tritt in den genannten Vorkommnissen die Natur des Wollastonits als eines Kontaktminerals uns nicht entgegen. Ein Somma-Auswürfling indefs, welchen Dr. Krantz vor einiger Zeit mit einer gröfseren vesuvischen Sammlung erhielt, zeigt den Wollastonit in einer Weise mit dem Kalk verbunden, dafs an einer Umänderung des kohleusauren in kieselsauren Kalk kaum gezweifelt werden kann. Das in Rede stehende Stück, von welchem die umstehende Figur eine Vorstellung geben wird, ist 11 Centim lang (*ab*), 8 Centim. breit, $5\frac{1}{2}$ Centim. dick (*ac*) und stellt sich als Bruchstück eines linsenförmigen

1) Diese Mittheilung wurde bereits der K. Bair. Akademie durch die Güte des Hrn. v. Kobell vorgelegt.

Sphäroids dar. Der in unserer Figur durch eine radiale Streifung bezeichnete Theil des Stücks besteht aus Wollastonit, dessen krystallinisch-blättrige Strahlen sämtlich normal zur peripherischen Fläche stehen. Diese Wollastonitschale, deren Dicke 25^{mm}, stößt sich scharf ab gegen den andern ursprünglich innern Theil des Stücks. Dafs ursprünglich auch die in unserer Zeichnung linke Seite des Auswürflings von einer gleichartigen Wollastonitmasse bedeckt war, wird durch verschiedene Wahrnehmungen fast unzweifelhaft. Diese links-



seitige Oberfläche besitzt nämlich vollkommen das Ansehen solcher Stellen der rechten Hälfte, an welchen von der innern Masse die äußere Wollastonitschale sich abgelöst hat. Die linke Hälfte unseres Auswürflings besteht wesentlich aus weißem, dichtem Kalkstein, welchem indeß in einer nach Innen nicht scharf begrenzten Zone zunächst der Wollastonitschale viele kleine krystallinische Fasern von Wollastonit beigemengt sind. Dieser mit Wollastonit gemengte Kalk bildet eine zusammenhängende Zone auch auf der linken Seite des Stücks und vollendet so den Beweis, daß auch hier ehemals die Kieselkalkschale vorhanden war. Die angedeuteten Verhältnisse werden durch Betrachtung der Figur vollkommen verständlich seyn. Dafs unser Stück bereits in der Weise fragmentarisch, wie es jetzt vor uns liegt, vom Sommatuffe umschlossen wurde, wird dadurch bewiesen, daß nicht nur auf der peripherischen Seite *ab*, sondern auch auf dem Querbruche *ac*, sowie auf der von der Wollastonitschale entblößten Fläche *bc* die Reste des Tuffs noch fest aufgebacken vorhanden sind, nämlich kleine Stücke von Bimstein, von körnigem Kalk, sowie kleine

Schlacken, Bruchstücke von Augit- und Olivinkrystallen, Glimmerblättchen etc. Zwischen den krystallinischen Fasern des Wollastonits findet sich (wie das bei Benetzen mit Säuren entstehende Brausen mit Säuren beweist) Kalkspath, dem Auge unsichtbar, eingelagert. Nachdem die strahlige Wollastonitmasse durch Behandlung mit Essigsäure von eingemengtem kohlensaurem Kalk befreit, ergab die Analyse:

Spec. Gew. = 2,853 (bei 16° C.).

Kieselsäure	51,31	Ox. = 27,365
Thonerde	1,37	0,639
Kalk	45,66	13,044
Magnesia	0,73	0,291
Glühverlust	0,75	
	<u>99,82.</u>	

Die Analyse entspricht demnach in befriedigender Weise der Formel Ca O, Si O_2 (oder Ca Si O_3), welche folgende Mischung erheischt: Kieselsäure 51,72. Kalk 48,28.

Es blieb nun noch auszumitteln, ob durch die chemische Analyse eine Verschiedenheit nachgewiesen werden konnte zwischen dem dichten Kern der Kalkmasse und jener, der Wollastonitschale anliegenden Zone, welche sich schon durch die Lupe als zum grofsen Theile aus krystallinischen Fasern und Schuppen bestehend erkennen liefs. Zu dem Zwecke wurden sowohl von der äufsern als auch von der innern Kalkmasse Proben gepulvert und etwa fünf Minuten mit concentrirter Essigsäure erhitzt, um so den kohlensauren Kalk in Lösung zu bringen, während der in Essigsäure unlösliche Wollastonit zurückbleiben mufste. So ergab sich, dafs von der peripherischen Masse 41,51 Proc. gelöst wurden, demnach derselben 58,49 Proc. Wollastonit beigemischt war; während von der centralen Masse 74,67 Proc. in Lösung traten, und 25,33 Proc. Wollastonit ungelöst zurückblieb.

Diese Thatfachen erheben es über jeden Zweifel, dafs die Umwandlung des kohlensauren in kieselsauren Kalk von der Peripherie des Auswürflings gegen sein Inneres hin vorschritt. Ja es lassen sich die angedeuteten Erscheinungen kaum anders erklären, als durch die Annahme, dafs die Kie-

selsäure bei der vulkanischen Metamorphose in das Kalksphäroid eindrang. Wie in der Granitnähe Körner und Krystalle von Wollastonit sich im Kalksteine ausscheiden, so erscheint dasselbe Mineral auch hier, wo dichter Kalkstein der Einwirkung des Vulkanismus ausgesetzt war.

55. Ueber Allophan von Dehrn bei Limburg in Nassau.

Durch Hrn. Grubendirektor Heimann erhielt unsere Universitätssammlung vor Kurzem ein hyalithähnliches, stalaktitisches Gebilde von 8 Centim. Länge und etwa 4 Centim. Dicke, welches, da es durch seine geringe Härte (gleich Flusspath) die Zugehörigkeit zum Opal oder Hyalith ausschloß, eine nähere Bestimmung und Analyse erheischte, welche zu dem Ergebniss führten, daß hier ein neues Vorkommen von Allophan, und gewiß das ausgezeichnetste dieses immerhin seltenen Minerals vorliege. — Unser Allophan ist vollkommen wasserhell und durchsichtig; starker Glasglanz zum Fettglanz neigend, muschliger Bruch, sehr leicht zerbrechlich. Die Masse besteht aus einem Hauptstalaktiten, an welchen sich mehrere kleinere anschließen, deren Dicke 5 bis 10^{mm} beträgt. Die Oberfläche zeigt eine etwa $\frac{1}{2}$ bis 1^{mm} dicke, theils weiße, theils gelbliche Zersetzungsrinde. Da vielleicht niemals eine ähnliche Allophanmasse vorgekommen ist, so unternahm ich mit großer Spannung zunächst eine qualitative Untersuchung, welche Wasser, Kieselsäure, Thonerde und eine kleine Menge Kalk als Bestandtheile zeigte. Die Analyse der geglähten Substanz ergab:

Kieselsäure	37,28
Thonerde	59,76
Kalk	3,05
	<hr/> 100,09.

also sehr nahe der Mischung Al_2O_3 , SiO_2 nebst einer kleinen Menge 2CaO , SiO_2 entsprechend. Der Wassergehalt wurde aus dem Glühverlust = 36,86 Proc. bestimmt. Es ist dies der gesammte Gewichtsverlust, welchen das bei 25° C. getrocknete Mineral über dem Gebläse erleidet. Daraus ergibt sich die Mischung des bei 25° C. getrockneten Allophan's, wie folgt:

Kieselsäure	23,53	Ox. = 12,549
Thonerde	37,73	17,617
Kalk	1,92	0,548
Wasser	36,86	32,764
	<u>100,04.</u>	

Betrachten wir den kiesel-sauren Kalk als nicht wesentlich für die Allophan-Mischung, so entspricht unser Vorkommen sehr nahe der Formel $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$ (oder $\text{Al}_2\text{SiO}_5 + 5\text{H}_2\text{O}$), welche verlangt: Kieselsäure 23,73; Thonerde 40,67; Wasser 35,60. Der Wassergehalt ist in verschiedener Art an das Silicat gebunden, wie man aus den verschiedenen Temperaturen schliessen kann, bei welchen das Wasser frei wird. Etwa die Hälfte desselben entweicht, wenn das Mineral anhaltend bei 100° erhitzt wird. Von dem noch bleibenden Wasser kann wiederum fast die Hälfte durch lang andauerndes Erhitzen bei 200 bis 220° verjagt werden, während der Rest erst durch Glühen und zwar vollständig und schnell auch nur durch die Gebläselampe fortgeht. Es resultirt dies aus folgender Versuchsreihe. Es verloren 100 Gew.-Th. Allophan bei 25° C. getrocknet nach dreistündiger Erhitzung bei 100° C. = 18,97 Proc. Nach einer $1\frac{1}{2}$ stündigen weitem Erwärmung bei gleicher Temperatur blieb das Gewicht constant. Es wurde nun die Hitze gesteigert auf 150° , nach $1\frac{1}{2}$ Stunde betrug der Verlust 4,24 Proc.; ferner $1\frac{1}{2}$ St. bei 170° , Verlust = 2,17; 2 St. bei 200° , Verlust = 1,14; 3 St. bei 220° , Verlust 0,66 Proc. Demnach Gesamtverlust zwischen 100° und 220° = 8,21, welcher bei längerer Erhitzung wohl noch etwas gröfser würde ausgefallen seyn. Nun wurde die Substanz geglüht, wobei sie knisternd zu Pulver zerfällt und 9,92 Proc. verliert. — Während bei diesem Versuche der Verlust zwischen 100° und der Glühhitze 18,13 Proc. betrug, wurde derselbe in einer zweiten Probe = 17,64 Proc. bestimmt. Bei einem dritten Versuche betrug der Gewichtsverlust zwischen 100° (wobei die Substanz indefs nur 2 St. gehalten worden war) und der Glühhitze 20,24 Proc. Das spec. Gew. des Dehrner Allophans in seinem natürlichen Zustande bestimmte ich

= 2,079 (bei 21° C.). Diese Bestimmung ist nicht ohne Schwierigkeit, da die Mineralstückchen im Wasser zerfallen und nur schwierig zur vollständigen Benetzung zu bringen sind; auch die spätere Bestimmung des absoluten Gewichts wegen des bereits bei geringen Temperatur-Erhöhungen eintretenden Gewichtsverlustes seine Schwierigkeit hat. Sicherer ist das spec. Gew. des geglühten Minerals zu bestimmen = 2,466 (bei 18½ C.). Noch ist zu bemerken, daß Kohlensäure in unserm Allophan nicht vorhanden ist, demnach der Kalk nur an Kieselsäure gebunden seyn kann.

(Schluß im nächsten Heft.)

IV. Ueber die angeblichen Dunstbläschen in der Atmosphäre; von J. Kober in Dresden.

Es ist eine Haupteigenschaft der tropfbaren Flüssigkeiten, der sie ja auch ihren Namen verdanken, daß sie sich selbst überlassen, die Kugelform annehmen, d. h. Tropfen bilden. Wir sehen das Wasser des Regens, wie des Springbrunnens in der Luft, das Quecksilber auf Holz, Glas etc. sowie in feinsten Zertheilung auf der Oberfläche, das Oel im Wasser, das Kautschuk u. a. Stoffe in der Pflanzenzelle, das Fett in der Milch usw. Kugel-, d. h. Tropfengestalt annehmen.

Um diese Tropfengestalt zu erlangen, werden sogar erhebliche Widerstände überwunden. So löst sich z. B., wie Plateau¹⁾ zeigt, eine künstlich dargestellte, cylindrische Wasserfläche sofort in einzelne Tropfen auf.

Man beobachtet zuweilen Blasen, deren Wand aus tropfbarer, deren Inhalt aus elastischer Flüssigkeit besteht, aber wohl nur in folgenden beiden Fällen:

1) Bei gewaltsamer Eintreibung der Luft in Flüssigkeit, die, wenn die Bläschen einige Dauer haben sollen, klebrig zäh seyn muß. Dahin gehören die Seifenblasen, die Blasen

1) Pogg. Ann. Bd. 132, S. 654.

hinter rasch fallenden Regentropfen, im schäumend fließenden Wasser, im perlenden Wein und Bier.

2) Beim Aufsteigen von Luft in Flüssigkeiten, in denen dieselbe aufgelöst war oder sich erst bildet, z. B. in erwärmtem Wasser (vor dem Kochen), in den kohlen sauren Getränken, in den gährenden Flüssigkeiten. In kochenden Flüssigkeiten vertritt der elastische Wasserdampf die Stelle des Gases; man findet aber stets, daß diese Blasen an der Oberfläche sofort zerplatzen, außer wenn sie durch die Klebrigkeit der Flüssigkeit daran gehindert werden.

Hier erscheinen die Gase in Kugelform offenbar in Folge des von allen Seiten gleichen Drucks der tropfbaren Flüssigkeit.

In verschiedenen Fällen kann man auch die Tropfen während, oder wenigstens kurz nach ihrer Bildung aus feinertheilter, gasiger Materie beobachten, z. B. am sublimirten Quecksilber und Schwefel ¹⁾, an dem Wasserbeschlag des kalten Glases, an der angehauchten Fensterscheibe etc. In all diesen Fällen erhält man unzweifelhafte Tropfen.

Der Uebergang des Wasserdampfes der Luft in tropfbar flüssiges Wasser läßt sich *a priori* wohl nur so denken, daß einzelne Wassermoleküle einander näher kommen, als der Gaszustand erlaubt und daher ein tropfbares Aggregat, den Anfang eines Tropfens bilden. Der frei gewordene Raum wird durch andere Moleküle erfüllt, unter denen die dem Aggregate am nächsten gekommenen, gleichfalls von demselben angezogen werden und so dasselbe vergrößern und wegen der Gleichmäßigkeit der Anziehung eine Kugel bilden. Je mehr Moleküle vorhanden sind, d. h. je wärmer die gesättigte Luft ist, desto größer müssen die Dunstkörperchen werden.

Diese müssen natürlich von Anfang an, vermöge ihrer größeren specifischen Schwere, Neigung zum Falle zeigen, der Widerstand der Luft erlaubt aber nur ein sehr langsames Fallen, so lange die Aggregate sehr klein sind. Endlich werden sie aber doch in niedere Luftschichten gelang-

1) Waller im *Philosophical Magazine*, XXVIII, p. 100.

gen und, falls diese trockener sind, wieder verdunsten, falls sie aber verhältnißmäßig dampfreich sind, statt zu verdunsten, sich vergrößern und endlich Regen bilden.

So bilden sich die fallenden Wasserkügelchen in der Luft, ganz analog den steigenden Luftkügelchen im Sodawasser.

Im aufsteigenden Luftstrome werden sie natürlich mit der Luft aufwärts steigen, in kräftigem Winde ungefähr horizontal fortziehen, in ruhiger Luft dagegen sinken. Daher regnet es bei ruhiger Luft leichter, als wenn der Wind weht.

Es kann gegenwärtig als ausgemacht vorausgesetzt werden, daß alle Dunstkörperchen der Atmosphäre sich aus elastischem Wasserdampfe bilden, der in kühlerer Luft in tropfbaren Zustand übergeht. Die Ursache der Abkühlung kann eine Zufuhr kälterer Luft oder Wärmestrahlung oder Luftverdünnung oder Ableitung der Wärme durch kühlere Gegenstände seyn; im letzten Falle dürften sich jedoch schwerlich freischwebende Dunstkörperchen bilden.

Nehmen wir im Verfolge der ersten der genannten Ursachen, die wohl am häufigsten die Dunstbildung veranlaßt, der Einfachheit wegen zuerst an, eine kältere untere Luftschicht berühre mit *ebener* Begrenzungsfläche eine obere wärmere, deren Thaupunkt über der Temperatur der unteren Schicht liege, so werden die Wassermoleküle, die durch die Gränzebene herabdringen, sich zu tropfbarem Wasser vereinigen müssen; sie könnten nun entweder einzelne Tröpfchen (die oben erwähnten Aggregate) bilden oder ein ebenes horizontales Wasserhäutchen, das sich aber sofort, wie aus dem oben angeführten Plateau'schen Versuche zu schliessen ist, in einzelne Tröpfchen auflösen müßte. Wir sehen in der That die Auflösung von Wasserhäutchen im Großen an Springbrunnen oder Gartenspritzen, an denen durch künstliche Vorrichtungen der Wasserstrahl gezwungen war, sich in eine Fläche auszubreiten. Nehmen wir dagegen an, daß die ungleichen Luftschichten unregelmäßig durch einander wirbeln, so werden sich an den Gränzflächen cylin-

drische, konische oder unregelmäßige Tröpfchenschichten oder Wasserhäutchen bilden, welche letztere aber schon im Entstehen sich in Tröpfchen auflösen müssen.

Dies gilt sowohl von Luftströmen im Großen, als auch von dem beschränkten über heißem Wasser aufsteigenden Strome.

Wenn die Ursache der Abkühlung Wärmeausstrahlung ist, so kann die Tröpfchenbildung in völlig ruhiger Luft vor sich gehen. Dann werden aber wegen der Gleichmäßigkeit der Abkühlung innerhalb der ganzen Luftmasse die Verdichtungsmittelpunkte zahlreicher und daher die gebildeten Dunstkörperchen kleiner seyn. Es wird Nebel entstehen. Ich setze hier voraus ¹⁾, daß die Luft ebenso wie andere Körper Wärme ausstrahle, sowohl nach dem Weltraume, als nach kühleren Luftschichten oder dem kühleren Erdboden.

Wenn warme feuchte Luft an kalten Berggipfeln vorbeizieht, entstehen in Folge der Wärmeausstrahlung die Nebel oder Wolken, die an den Berggipfeln zu haften scheinen; weil hier die Temperaturunterschiede bedeutender sind, so geht die Dunstbildung rascher und kräftiger vor sich, die Tröpfchen werden größer und erscheinen dem Reisenden als wirklicher Regen, dem Thalbewohner dagegen als Wolke.

Die durch erkältende Luftverdünnung entstehenden Nebel, wie man sie unter dem Recipienten der Luftpumpe beobachtet, dürften in der freien Natur eine untergeordnete Rolle spielen; indessen haben sie wohl ihren Antheil an den über dem heißen aufsteigenden Luftstrome in der Region der Windstillen entstandenen Wolken, sowie in den Gränzschichten rasch aneinander vorbeiziehender Luftströme.

Wenn nach E. E. Schmid ²⁾ Hagel und Schlossen in den kleinen Wirbelstürmen, Wind- und Wasserhosen gebildet werden, so ist nichts einfacher, als durch solche Wirbel sämtliche Hagelwetter zu erklären. Wenn die Gegen-

1) Wells, über den Thau.

2) Lehrbuch der Meteorologie, Leipzig 1860, §. 540 u. 541.

sätze neben oder übereinander vorbeiziehender Luftströme sehr schroff sind, so ist die Bildung solcher Wirbel, die sich auch aufwärts bewegen können, mit horizontaler, verticaler oder beliebig geneigter Axe sehr wahrscheinlich. Die Tropfen oder Graupelkörner werden rasch in Kreise herumgeschleudert, ebenso wie die beigemengten Rufs- und Staubkörner¹⁾. Die rasche Wirbelbewegung und die starke Luftverdünnung in der Axe der Wirbel²⁾ erklären die nöthige Kälte, die längere Dauer dieser Bewegung, zumal wenn der Wirbel aufwärts fortschreitet, die Zusammenkittung der Körner, die dann beim endlichen Fall noch gröfser werden. Auch dafs ein Hagelfall sich nur über einen schmalen Streifen erstreckt, erklärt sich bequem durch den Vergleich mit der auf die Erdoberfläche fortschreitenden Staub- oder Windhose.

Wenn sonach die Entstehung von Wassertröpfchen in der Atmosphäre wohl erklärlich ist, so ist die von Dunstbläschen höchst unwahrscheinlich, ja geradezu undenkbar. Die Gründe, die die Physiker zum Glauben an letztere bewogen haben, verdienen daher um so sorgfältigere Prüfung, weil eine so unwahrscheinliche Annahme nur durch zwingende Gründe aufrecht erhalten werden kann.

Die Idee kugeliger Bläschen, die aus Luft (oder Feuer) mit einem dünnen Wasserhäutchen bestehen, ist von Halley und Leibnitz ausgegangen.

Halley³⁾ denkt sich die Entstehung so, dafs die Luft, die jedem Wassertheilchen innewohnt, da ja bekanntlich (wie die Erfahrung unter der Luftpumpe zeigt) das Wasser Luft enthält, aus mehreren sich vereinigenden Wassertheilchen zusammenfließt und durch die (Condensations-) Wärme so ausgedehnt wird, *ut tota bulla sit specificè levior aëre*

1) Waller, *Philosophical Magazine* XXIX, p. 105.

2) In der Havanna wurden während des Wirbelsturmes die Fensterscheiben durch den stärkeren, nicht schnell genug ausgeglichenen Druck der Zimmerluft nach außen zersprengt.

3) *Physica* p. 135 u. 148. (In Kämtz, *Meteorologie* I, 365 sind irrtümlich die Aufsätze Halley's in den *Philosophical Transactions*, XVI, 368 u. XVIII, 183 citirt).

externo«. — Aber erstens enthält das Wasser nicht so viel Luft, wie hier nöthig wäre, zweitens ist die Condensationswärme nicht groß genug, um diese Luft so stark zu verdünnen, und drittens glaubt man in der neueren Zeit bewiesen zu haben¹⁾, daß die Luft aus dem Bläschen bald ausgepresst werden müßte.

Anders ist die Ansicht von Albert Linnemann, der die Substanz der Dunstkörperchen für löcherig und höhlenreich erklärt.

Leibnitz, bei dem überhaupt die Blasen eine große Rolle spielen, äußert sich folgendermaßen²⁾: »*Principio ex fluidi aestuatione et fusione per lucem seu calorem ortae sunt bullae innumerabiles ... Nam quoties subtilia percurrere per densa conantur, formantur densa in cavas quasdam bullas ... Idem ex officinis vitrariis constat ... Haec jam bullae sunt semina rerum ... Tota aqua innumerabilium bullarum congeries, aer nil nisi aqua subtilis est.*« Es ist wohl nicht nöthig, über diese philosophische Auffassung ein Wort zu verlieren.

Seit Leibnitz haben sich die Physiker gewöhnt, die Dunstbläschen mit den Seifenblasen oder den aus heißen oder übersättigten Flüssigkeiten aufsteigenden Blasen zu vergleichen, ohne nur auf die Frage einzugehen, wie solche Bläschen in der Atmosphäre entstehen können. Man findet bloß hin und wieder³⁾ die Redensart, daß das Wasser sich, wie am kalten Glase, an erkaltete Lufttheilchen niederschlägt und dieselben umhülle. Ich kann mir keine Vorstellung machen, wie sich ein tropfbarer Körper an einem luftförmigen soll niederschlagen können; es ist wohl z. B. klar, daß Staub an einem Wasser- oder Quecksilbertropfen ankleben kann, aber nicht an Luftkugeln, die innerhalb der elastisch-flüssigen Luft nicht existiren und nur unter dem Drucke einer tropfbaren Flüssigkeit entstehen können. Und ist es

1) Reuben Phillips im *Philosophical Magazine*, Ser. IV. Vol. V. p. 28.

2) *Physica generalis*, 11 — 13.

3) Z. B. Berger in Pogg. Ann. 118, p. 466.

denkbar, daß so äußerst kleine kalte Lufttheilchen sich isolirt in großer Zahl in die wärmere Luft herabsenken, zumal in Kugelgestalt, so daß an ihnen niedergeschlagener Wasserdampf die Nebelbläschen bilden könnte? Trotz der schlechten Wärmeleitung könnten so kleine Lufttheilchen nicht eine so niedrige Temperatur behalten, daß sich an ihnen genug Wasser niederschläge, um sie zur Kugelgestalt zu zwingen, zumal da durch die Condensation des Wasserdampfes Wärme erzeugt wird.

Der Niederschlag des Wassers an einem Körper läßt sich überhaupt nur durch die Anziehung (Adhäsion etc.) erklären, die nur denkbar ist, wenn eine größere Zahl Molecüle eng vereinigt sind und gemeinschaftlich wirken. Die weit entfernten, auseinander strebenden Molecüle eines Gases können eine solche Anziehung nimmermehr ausüben, zumal da die Anziehung nach allen Seiten in gleicher Stärke geschehen müßte.

Nun wollen wir die Beweise prüfen, die man zur Begründung der Bläschentheorie vorgebracht hat.

Die erste Frage ist, ob Jemand diese Bläschen gesehen habe. Diefß haben versucht Wolff, Kratzenstein, Saussure und Waller, sowie einige Andere, die nur die Versuche der genannten Physiker wiederholten.

Wolff¹⁾ beobachtet durch das Mikroskop den Dampf des kochenden Wassers im Sonnenstrahle im dunklen Zimmer und auf einer Tasse mit schwarzem heißem Kaffee in der Sonne: »So wird man sehen, daß die Dünste rund sind und weiß aussehen. Es ist aber aus dem Jäschte des braunen Bieres bekannt, daß er dadurch weiß aussieht, weil er aus kleinen Bläschen besteht.« Man sieht, auf was für fehlerhafte Ansichten sich die Annahme der Bläschenform stützte.

Kratzenstein und Saussure wiederholen diese Versuche, und namentlich Saussure behauptet, daß aus dem heißen Kaffee Bläschen aufsteigen und theils in die Luft

1) Nützliche Versuche etc. von Christian Wolffeu. Halle 1738 (I. Aufl. 1722). II. Theil, §. 84.

Poggendorff's Annal. Bd. CXLIV.

gehen, theils auf die Oberfläche fallen und sich mit anderen zu dem unzweifelhaft aus Bläschen bestehenden Schaume vereinigen. Auf verkühlendem, gut gekochtem, von Luft und luftbildenden Stoffen (auch von Zucker) freiem Kaffee habe ich nie einen Schaum erhalten. Die beobachteten Bläschen sind wahrscheinlich so zu erklären, daß Luft- oder Dampfbläschen aus der Tiefe der Flüssigkeit mit solcher Kraft aufsteigen, daß sie, wie im frischen Sodawasser, sich an der Oberfläche loszureißen und in die Luft zu erheben vermochten. Cornelius¹⁾ bemerkt über die Dunstkörperchen, die dem schwarzen Kaffee entströmen: »Man sieht mit freiem Auge größere und kleinere einzeln schwebende Bläschen, die zum Theil ein buntes Farbenspiel gewähren, während andere als weißliche Kügelchen erscheinen.« Daß außer etwa in den heißen oder stark gashaltigen Quellen, in der Natur etwas Aehnliches vorkommen könne, wird wohl Niemand behaupten wollen.

Saussure²⁾ hat die Nebel auf den Alpen mit dem Mikroskope vor einer dunklen Schildpattfläche beobachtet. Er sagt darüber: »Ist die Wolke dick, so darf ich nicht lange warten, ich sehe die runden und *weißen* Theilchen vorbeifahren, einige so schnell wie der Blitz, andere langsamer, einige rollen über die Schildpattfläche weg, andere stoßen schief an dieselbe und springen davon ab, wie ein Ball an der Mauer... Man sieht auch, wie sich kleine Wassertröpfchen auf diese Fläche setzen, die man an ihrem *schweren Gange* und ihrer *Durchsichtigkeit* leicht erkennen kann... Auch sieht man sie mit bloßem Auge in der Luft schwimmen und so leicht dahinfliegen, daß man wohl einsieht, sie müssen inwendig leer seyn«. Aber einfache Bläschen sowohl, wie Tropfen, erscheinen in Ruhe oder langsamer Bewegung (»mit schwerem Gange«) durchsichtig und nur an den Rändern oder einzelnen spiegelnden Stellen weiß, die rasch bewegten Tropfen aber des fallenden Regens wie der Gartenspritze vor dunklem Hintergrunde nicht

1) Meteorologie, Halle 1863.

2) Hygrometrie § 206.

mehr und nicht weniger weiß als die Bläschen; daher beweist diese Beobachtung nichts. Uebrigens scheint Saussure vorauszusetzen, daß der schwerere Körper sich langsamer bewegen müsse, als der leichtere.

Dieselbe Wahrnehmung hat, wie es scheint, Cornelius gemacht; er bemerkt noch, daß die Nebelkörperchen (die er für Bläschen hält) sich auf der schwarzen Fläche in Form von Halbkugeln niedergeschlagen haben. Leider hat er versäumt, diese Halbkugeln, was so leicht gewesen wäre, unter dem Mikroskope verdunsten zu lassen, wobei sich herausgestellt haben würde, daß sie nicht plötzlich verschwinden (zerplatzen), sondern kleiner und kleiner und endlich unsichtbar werden.

Läßt man die Dunstkörperchen des Kochfläschchens über eine benetzte Glasplatte streichen, auf welche dieselbe zum Theil adhäriren, so ist auf dem Wasser keine Spur von Luftbläschen zu sehen.

Waller hat unter Anwendung der Saussure'schen Methode keinen Beweis für die Bläschenform finden können und erklärt, daß es sehr mißlich sey, aus dieser Art von Beobachtungen etwas über die Natur der Nebelkörperchen entscheiden zu wollen. Er sagt¹⁾ über die auf dem St. Bernhard beobachteten Nebelkörperchen; »*I have endeavoured to ascertain their vesicular structure, but have been unable to do so from direct observations. It is frequently a most difficult point in microscopic investigation, to decide upon the existence of a thin transparent membrane. It is still more so to pronounce upon the vesicular or spherular structure of globules in constant agitation; and I believe that if minute spherules and vesicles could be mixed together, we do not possess any means at present of distinguishing them.*«. Etwas räthselhaft und von Clausius als Gegenbeweis ausgebeutet, ist die Bemerkung Waller's »*sometimes, when the agitation of air is slight, two of the larges globules may be seen floating towards each other, and afterwards disappear suddenly.*«.

1) Phil. Mag. Vol. XXVIII, p. 99 (anno 1846).

Man darf nicht vergessen, daß man im vorigen Jahrhundert noch nicht so scharf, wie seit Dalton's Zeiten, zwischen Dunst und elastischem Dampf unterschied und daß die meisten Beobachter in dem Wahne befangen waren, daß der Wasserdunst sich in Bläschenform von der Wasseroberfläche abhebe.

Uebrigens giebt Saussure¹⁾ zu, daß der Wasserdampf der Luft unter Umständen direct Tropfen bilde²⁾. Wer einmal eine Gebirgsreise gemacht hat, ist mit diesen soliden Tröpfchen hinlänglich bekannt; häufig, wenn es auf der Höhe regnet, bleiben die Thäler trocken³⁾ (weil die fallenden Tropfen unterwegs verdunsten): der Regen auf der Höhe erscheint dem Thalbewohner als Wolke oder Nebel.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß die directe Beobachtung keinen Beweis für die Bläschenform geliefert hat.

Den zweiten und in früheren Zeiten wichtigsten Grund für die Bläschenform fand man in dem Aufsteigen der Dunstkörperchen in der Luft, indem man von der Annahme ausging, daß die aufsteigenden Dunstkörperchen specifisch leichter als die Luft seyn müßten.

Um diese specifische Schwere drehen sich alle Abhandlungen über die Dünste zu Ende des 17. und im 18. Jahrhundert. So sagt Erasmus Francisci⁴⁾: »Die Dünste steigen, bis sie der Luft an Gewicht gleich werden. Die rechte Hauptursache aber, bedünkt mich, hänge von der natürlichen Wärme und Porosität oder Lockerheit ihrer Materie, nämlich der Dünste ab: Mäsen, auch Albertus Linemanus, weiland Professor Matheseos zu Königsberg, in Preussen, sagt, weil ihre Substanz löchericht ist und viele Höhlen hat.«

Nach Halley muß die eingeschlossene Luft so warm seyn, *ut tota bulla sit specifico levior aëre externo.*

Leibnitz⁵⁾ äußert darüber: die Luft in den Bläschen

1) Hygrometrie § 200.

2) Kämtz I, 396.

3) Kämtz I, 402; III, 152.

4) Der Luftkreis, Nürnberg 1680.

5) *De elevatione vaporum.*

— *«uales in liquoribus spumescantibus»* — sey leichter, weil wärmer, als die äußere Luft.

Wolff¹⁾ sagt: »Ich könnte erweisen, daß die wenige Luft in den Bläslein der Dünste so sehr ausgebreitet sey« (nämlich durch die Wärme, die das Verdunsten bewirkt), »als erfordert wird, sie von leichterer Art zu machen, daß die ganzen Dünste leichter sind als die Luft, darinnen sie aufsteigen. Allein da man siehet, daß sie in der That so leichte sind« usw. Es folgt dann die Berechnung des specifischen Gewichts der Dunstbläschen, aus welcher Rechnung Wolff und Kratzenstein folgern, daß sie leichter, Hamberger und Desaguliers, daß sie schwerer als die Luft seyn müssen. Die Frage ist immer, ob die Bläschen mit Luft oder mit »Feuer« erfüllt sind.

Selbst Saussure²⁾ sagt noch: »Wenn es einmal erwiesen ist, daß die Wolken aus Wasserbläschen bestehen, so ist dadurch auch dargethan, daß diese Bläschen eigenthümlich so leicht, als die Luft und manchmal noch leichter sind.«

In entgegengesetztem Sinne äußert sich Des Cartes³⁾, daß nämlich die Dunstkörperchen durch die Sonnenwärme ebenso seitwärts und aufwärts gestossen werden, wie der Staub durch den Fuß, woraus sich ergibt, daß sie ebenso wenig leichter als die Luft zu seyn brauchen, wie die Staubkörnchen.

Auch Leibnitz⁴⁾ kommt zu der Einsicht, daß, wenigstens um in der Luft schweben zu können, die Dunstkörperchen nicht specifisch leichter zu seyn brauchen, als die Luft: *«Fieri potest, ut vapores . . . in aëre suspensi mancant, eo modo quo pulvisculi in aëre sustentur, quia aër, ut omne fluidum, aliquem habet gradum tenacitatis seu nexus partium, ut vi aliqua quantulacunque opus sit ad perrumpendum . . . idem ergo bullulis guttisque admodum exiguis*

1) Nützliche Versuche II, § 84.

2) Hygrometrie § 208.

3) *Principia philosophiae, Meteor.*

4) *De elevatione vaporum.*

contingit. Sed si plures guttulae concurrunt... et quia superficies crescunt tantum ut quadrata, pondera autem ut cubi diametrorum... usw.

Klarer noch bespricht die Sache Hamberger¹⁾. Er sagt nämlich über die Seifenblasen: *«Experientia et ratio monstrant, tales vesiculae aëre adhuc esse specificè graviores, semper enim in aëre tranquille descendunt»*. Und weiter (Sch. II), wo von den Dunstbläschen die Rede ist: *«Concedo quidem, corpus, cujus cavum igne foret repletum, crusta vero ex aqueis constaret particulis..., fore aëre levius, ast nego, tale corpus physice generari posse.*

Auch Desaguliers²⁾ schreibt der Wärme und daher größeren Elasticität der aus der Lunge in die Seifenblasen getriebenen Luft das Aufsteigen zu und bestreitet die Existenz von Dunstbläschen.

Am erschöpfendsten beleuchtet jedoch Georg Wolfgang Kraft³⁾ die (dem Leser bereits bekannten) Gründe, die sich gegen Halley und Leibnitz geltend machen lassen.

Diese spezifische Leichtigkeit der Dunstkörperchen konnte man nur so lange zur Entscheidung der Frage für wesentlich halten, als man den aufsteigenden Luftstrom nicht kannte. Es scheint, daß nur Kratzenstein (nächst der oben citirten Bemerkung von Cartesius) von demselben eine wenigleich verworrene Vorstellung hat. Kratzenstein⁴⁾ sagt nämlich: Die Dünste, welche vom Wasser aufsteigen, werden... durch die über dem Wasser von der Wärme ausgebreitete und in die Höhe steigende Luft mit fortgenommen«. Dagegen heißt es in § 39: *»Die Dünste werden nicht mit den aufsteigenden Feuertheilchen als durch einen Strom fortgerissen, weil die Feuertheilchen sich stets von dem wärmeren gegen den kälteren Ort, also vom heißen Wassergefäße seitwärts bewegen«*.

1) *Elementa physices*, Jenae 1750 (Ed. IV, §. 477, Sch. I).

2) *Cours de physique expér.*, traduit de l'anglais, Paris 1751, T. II, X.

3) *De vaporum et halituum generatione et elevatione*. Tübingae 1745.

4) Ueber das Aufsteigen der Dünste § 71.

Seit Saussure's Zeiten hat wohl Niemand mehr die geringere specifischere Schwere für ein nothwendiges Erforderniß gehalten. Es ist aber wohl zu beachten, daß Alle, die damals die Dunstkörperchen für Bläschen hielten, die geringe specifische Schwere als wesentlichste Stütze ihrer Ansicht betrachteten.

Der dritte und in der Neuzeit fast einzig urgirte Grund ist aus dem optischen Verhalten der Dunstkörperchen hergenommen.

Kratzenstein ist der Erste, der daraus, daß die Dünste nicht wie die Regentropfen einen Regenbogen bilden, schließt, daß sie Bläschen seyn müssen. Da sie nämlich »wegen der gleichen Kraft, womit sie unter sich zusammenhängen, in der Luft eine kugelrunde Gestalt erhalten« und, weil sie keinen Regenbogen bilden, keine Tröpfchen seyn können, *so müssen sie Bläschen seyn*. Das Licht sey offenbar viel feiner, als die Dunstkörperchen, daher sey die Größe der Tropfen unwesentlich, es müßten also die Dunstkügelchen ebenso wie der Regen einen Regenbogen bilden. Dem widerstreite aber die Erfahrung. Kratzenstein beruft sich auf seine Beobachtung, daß im Sonnenstrahle im dunkeln Zimmer die Tropfen des Springbrunnens einen Regenbogen bilden, nicht aber die Dünste des kochenden Wassers.

Man muß sich wundern, daß Niemand untersucht hat, wie der Regenbogen durch die Größenverschiedenheit der Tropfen modificirt werde, wie insbesondere der feine Wasserstaub sich in dieser Hinsicht verhalte. Solchen Wasserstaub erhält man durch den einfachen Zerstäubungsapparat, der jetzt zum Bespritzen der Zimmerpflanzen gebräuchlich ist. Derselbe liefert gleichzeitig dreierlei Tropfen, erstens einzelne große, deutlich als Tropfen erkennbare, zweitens kleine, die anfangs durch einander wirbeln, bald aber parallel niederfallen, und drittens ganz feine, die nur nebelartige Wolken bilden und endlich eher zu steigen, als zu fallen scheinen. In den Tröpfchen der letzten Art sieht man selbst im dunkeln Zimmer fast keine Spur eines Regenbogens; die zweite Art giebt einen Bogen (blau und orange),

der deutlich auf etwa ein Meter Entfernung sichtbar ist, weit deutlicher jedoch, wo die Tropfen parallel fallen, als da, wo sie sich unregelmäßig bewegen, während die einzelnen großen Tropfen mitten in dem matten Bogen der kleineren in lebhafter Farbe aufleuchten. Wie soll man hier nach in den offenbar noch viel kleineren Tröpfchen, die sich aus dem Dampfe des Kochfläschchens bilden, einen Regenbogen sehen? Dafs auch die feinsten Tröpfchen des Wasserstaubes bedeutend gröfser sind, als die in der Luft sich bildenden Dunstkörperchen, sieht man sofort unterm Mikroskop, wenn man die genannten Tröpfchen auf ein Glasplättchen fallen läfst und zur Vergleichung auf dasselbe haucht.

Bravais¹⁾ geht zur Erklärung des »weissen Regenbogens« mit allen Meteorologen von der Annahme aus, dafs das flüssige Wasser in der Atmosphäre in zwei Zuständen existire, nämlich in Bläschen mit sehr dünnen Wänden und in vollen Kügelchen. »Es ist nämlich²⁾ unzweifelhaft, dafs die nicht hohen Wolken, die Cumuli... Wasser im Bläschenzustand enthalten. Denn diese Wolken geben niemals zu einem Regenbogen Anlaß, und überdies, wenn sie vor der Sonnenscheibe vorübergehen, schwächen sie allmählich deren Licht und löschen es endlich ganz aus, ohne die Schärfe ihres Umrisses zu verletzen; *dies könnte nicht mit vollen Tropfen geschehen*, weil sie die Sonnenstrahlen zerstreuen würden«. — Leider spricht sich Bravais nicht über die Natur der übrigen Wolken aus; auf Seite 565 sagt er selbst über den Regenbogen, den Kämtz³⁾ am 9. Sept. 1833 in einer »Wolke« sah, mit einem Halbmesser von ungefähr 41 Grad, »nach innen schwach blau, nach außen röthlich« (also ähnlich dem oben beschriebenen Bogen im zerstäubten Wasser): »Dieser Umstand, sowie die scheinbare Gröfse des Durchmessers, setzen diesen Bogen in die Kategorie der gewöhnlichen Regenbogen«. Danach

1) Pogg. Ann., Ergänzungsbd. II (73) S. 562.

2) Dasselbst S. 568.

3) Meteorologie III, S. 109.

müßte doch diese Wolke (so wie der Nebel Scoresby's am 23. Juli 1821) aus wirklichen Tropfen bestanden haben. Dasselbe sagt Bravais von den farbigen Bogen, die Scoresby 1817 und 1820 »auf einer sehr niedrigen Wolke« gesehen hat.

Wenn nun, nach Bravais Ansicht, gewisse Wolkenarten aus vollen Tropfen bestehen, so müßten doch diese immer, auch auf größere Entfernungen, den Regenbogen zeigen, was bekanntlich nicht geschieht.

Die übrigen Beobachtungen des weissen Regenbogens, die Bravais aufführt, stimmen darin überein, daß der Bogen einen etwas kleineren Durchmesser zeigt, als der gewöhnliche Regenbogen (was Kämtz der Schwierigkeit der Messung zuschreibt), und daß sie nur »auf niedrigen Nebeln«, »kurz nach Sonnenaufgang« und zwar in *sehr geringer Entfernung* beobachtet wurden. Hier liegt der Gedanke nahe, daß man das Phänomen nur deshalb so selten sieht, weil selten ein Beobachter so nahe an eine Wolke oder einen *scharf begränzten Nebel* herankommt, in größerer Entfernung aber die ganze Erscheinung wegen allzugroßer Lichtschwäche oder Zerstreuung verschwindet.

Daß der Bogen weiß oder gelblich erscheint, statt wie in den Tröpfchen des Wasserstaubes blau und orange, kann sich auch daraus erklären, daß das gelbrothe Licht der aufgehenden Sonne zu wenig blaue Strahlen enthält. Denn bei niedrigem Stande der Sonne verschwindet das Blau fast ganz auch im gewöhnlichen Regenbogen¹⁾.

Da der weisse Regenbogen *immer*²⁾ von der sogenannten Glorie (Gegensonne, Brockengespenst) begleitet ist, so liegt auf der Hand, daß beide dieselbe Ursache haben. Nun sieht man aber diese Glorie eben auch häufig auf dem Thau des Grases usw., der doch offenbar aus Tropfen besteht³⁾.

Bravais spricht (S. 567) die Ansicht aus, die auch von

1) Kämtz III, 158.

2) Bravais in Pogg. Ann. Ergänzungsbd. II (37) S. 563.

3) Kämtz III, 105.

Clausius ¹⁾ adoptirt wird, dafs, wenn der Nebel aus Tröpfchen bestände, die gröfsere Zahl derselben, bei hinreichender Dicke der Nebelschicht, die Kleinheit der Tropfen ausgleichen müsse. — Aber der Regenbogen erscheint uns in vollem Glanze, auch mit dem Nebenbogen, selbst wenn wir durch ihn hindurch und unter ihm terrestrische Gegenstände deutlich erkennen, ja selbst der blaue Himmel ist neben und unter dem Regenbogen bisweilen (z. B. am 14. Juni 1871) so klar zu sehen, dafs man kaum glauben möchte, dafs die Luft fallende Tropfen enthalte, und dennoch zeigt der Bogen die Farben in lebhaftestem Glanze. Die farbigen Strahlen, die von weiter rückwärts befindlichen Tropfen ausgehen, können demnach die Erscheinung nicht wesentlich verstärken.

Da selbstverständlicher Weise das Licht unterwegs geschwächt wird und daher die von Tropfen ausgehenden Lichtstrahlen nicht auf jede Entfernung unserm Auge sichtbar bleiben können, ebensowenig wie das Licht sehr entfernter Sterne, so giebt es eine Gränze, über die hinaus wir keinen Regenbogen mehr wahrnehmen. Diese Gränze ist von der Gröfse der Tropfen abhängig: je kleiner die Tropfen, desto eher wird der Bogen unsichtbar und zwar in rasch wachsender Progression; der in künstlich feinerzstäubtem Wasser entstandene Bogen ist nur auf wenige Schritte sichtbar, der farbige Bogen, den Kämtz u. A. «in dichten Nebeln» beobachteten, war höchsten 80 Meter entfernt. (Ich möchte daraus folgern, dafs die Tropfen dieses Nebels gröfser waren, als die des künstlich zerstäubten Wassers). Den gewöhnlichen Regenbogen sehen wir auf Entfernung von 1000 bis 1600 Meter. Nach Bravais Ansicht müfsten wir ihn aber in jeder beliebigen, auch meilenweiten Entfernung wahrnehmen können.

Die farbigen Strahlen, die aus dem Innern einer Wolke oder eines Nebels kommen, werden theils bei ihrem doppelten Durchgange durch den Nebel zerstreut und liefern

1) Pogg. Ann. Bd. 88, S. 547.

daber weißes Licht, theils machen sie wegen zu großer Entfernung gar keinen Lichteindruck.

Auch der Schall ist nicht auf jede Entfernung hörbar und zahlreiche schwache Töne nicht so weit, wie ein einziger starker. Man hört von einer entfernten Musik ein wirres Geräusch oder einzelne Posaumentöne.

Ich bin überzeugt, daß auch die Bewegung der Tropfen auf den Regenbogen Einfluß übt. Unregelmäßig durcheinander wirbelnde Tröpfchen geben einen matten Bogen, als dieselben Tröpfchen, wenn sie parallel niederfallen. Einige andere Umstände, die die Bildung des Regenbogens in Wolken und Nebeln erschweren, sollen später besprochen werden.

Der andere von Bravais angeführte Grund gegen die Solidität der Dunstkörperchen ist durch Brücke widerlegt worden.

Brücke¹⁾ tröpfelte nämlich eine weingeistige Lösung von Mastix in Wasser, das heftig umgeschüttelt wurde. Dadurch entsteht eine trübe Flüssigkeit, die im auffallenden Lichte himmelblau erscheint. „Sieht man durch eine Schicht (dieser Flüssigkeit) hindurch, so erblickt man alle beleuchteten Gegenstände *vollkommen deutlich und scharf begränzt*, nur schwach gelblich gefärbt. Sieht man durch ein solches Medium nach einer Flamme und macht die Schicht immer dicker oder das Medium durch Hinzufügen von mehr Mastixlösung trüber, so erscheint die Flamme immer röther und verliert immer mehr an ihrer Lichtintensität, aber sie erscheint noch immer *vollkommen scharf begränzt*, so daß man sehr deutlich wahrnehmen kann, wie zuletzt die lichtärmeren Theile der Flamme ganz verschwinden und nur diejenigen noch sichtbar bleiben, welche rothe und orange-farbene Strahlen in größerer Menge enthalten“. Die mikroskopische Untersuchung zeigte, daß die im Wasser schwebenden Tröpfchen äußerst klein, selbst bei den stärksten Vergrößerungen meist kaum sichtbar sind.

Es ergibt sich daraus, daß die Umrisse der Gestirne

1) Pogg. Ann. Bd. 88, S. 382.

nicht merklich gestört werden, wenn nur die Tröpfchen klein genug sind. Je größer die Tröpfchen, desto deutlicher wird die Störung: die »Mastixmilch«; die aus weit größeren Kügelchen besteht, zeigte die Farben weit schwächer und die Umrisse der Körper minder deutlicher. (Es gilt, so viel ich weiß, als ausgemacht, daß z. B. das persische Hochland mit seiner dunstarmen Atmosphäre zu astronomischen Beobachtungen sich besser eignet, als unsere Gegend selbst beim klarsten Himmel).

Bravais macht zur Erklärung des weißen Regenbogens die Hypothese, daß die Wände der Dunstbläschen sich mehr und mehr verdicken; so würde der Bogen durch Brechung und Spiegelung in den dicken Wänden gebildet. Auf diese Hypothese gründet er eine Rechnung, durch welche er die Erscheinung erklärt. Natürlich gewinnt dadurch die Hypothese keine Sicherheit, sondern nur Möglichkeit, und bedarf zu ihrer Bestätigung noch anderer Beweismittel, die aber vollständig fehlen. Man denkt bei solchen Rechnungen unwillkürlich an die Newton'schen Arbeiten über das Licht, die auch die wirklichen Erscheinungen meistentheils erklärten und doch auf einer völlig falschen Hypothese beruhten.

Gegen Potter¹⁾, der den weißen Bogen aus der Kleinheit der Tröpfchen erklärt, bemerkt Bravais, »daß diese Ansicht den schwachen Glanz des weißen Bogens nicht erklärt«, wohl mit Unrecht, da die Intensität mit der Größe der Tropfen zunimmt. (Gleichwohl scheint auch Potter's Ansicht nicht die richtige zu seyn): Nach Bravais »bleibt nur noch durch Erfahrung zu beweisen, daß volle Tropfen, wie klein auch ihr Durchmesser seyn möge, nicht solche weiße Bogen erzeugen können.« Der Mondregenbogen erscheint nach Kämtz²⁾ meist nur weiß oder gelb, obwohl er in vollen Tropfen entsteht.

Einen sehr gewichtigen Einwand gegen die Tropfenform der feinsten Dunstkörperchen erhebt Clausius³⁾. Er be-

1) *Cambridge Transactions* VI.

2) *Meteorologie* III. 152.

3) *Pogg. Ann.* 76, 161.

weist nämlich, daß, vorausgesetzt, daß der Verlust, den das directe Sonnenlicht nach Bouguer und Lambert beim Durchgange durch die Atmosphäre erleidet, der Brechung und Zerstreuung durch solide Kugeln zuzuschreiben sey, das Licht der Sonne und Sterne mit sehr allmähig abnehmender Stärke über eine große Kreisfläche ausgebreitet erscheinen müßte, so daß man diese Gestirne nie mit scharfen Rändern begrenzt sehen würde. Selbst wenn nur die Hälfte jenes Lichtverlustes der Reflexion etc. an Wasserkügelchen zugeschrieben werde, müßten uns die Gestirne ganz auffallend, undeutlich begrenzt erscheinen. Clausius nimmt daher zur Erklärung des reflectirten Lichts des blauen Himmels zartwandige Bläschen an, aus denen er dann auch die blaue Farbe des heiteren Himmels, sowie die rothe der Morgen- und Abendröthe erklärt.

Er weist zugleich nach, daß die Reflexion nicht von festen Körpern, noch von solchen herrühren kann, deren Brechungsverhältniß nahezu Eins ist, als Sauerstoff und Stickstoff.

Die verdienstvolle Arbeit scheint mir aber von einer irrthümlichen Voraussetzung auszugehen, nämlich von der, daß der Lichtverlust in der Atmosphäre ganz (oder wenigstens zur Hälfte) von der Reflexion und Zerstreuung herrühren müsse. Sie *anerkennt keine Absorption*. Wir verstehen aber unter Absorption die Schwächung des Lichts, die in der Luft vor sich geht, ganz unabhängig von den festen oder tropfbaren Körperchen: die sich in derselben befinden. Daß eine solche Absorption existirt, unterliegt keinem Zweifel. Ohne dieselbe würde ein farbiges Gas eine Unmöglichkeit seyn, da doch die Farbe des Chlorgases nur durch Absorption farbiger Lichtstrahlen erklärlich ist¹⁾. Der Umstand, daß verschiedene Körper die strahlende Wärme (schwächer oder) stärker durchlassen, als das Licht, zeigt uns gleichfalls, daß das Licht auch ohne Reflexion etc. geschwächt wird. Auch im Weltraume findet eine Lichtabsorption statt, da nach Olbers und Struve die Licht-

1) Vergl. Morren in Pogg. Ann. Bd. 137, S. 165.

eindrücke von den kleinsten und fernsten Sternen stärker, als nach dem Quadrate der Entfernung abnehmen. Wenn man glaubt, daß der Aether die Bewegung der Planeten und Kometen durch seinen Widerstand verzögert, so läßt sich wohl auch denken, daß er durch seinen Trägheitswiderstand die Schwingungsamplitude der Lichtstrahlen verkleinere; man hat daher gar nicht nöthig, zu lichtschwächenden »Dunstkörperchen« des Weltraums seine Zuflucht zu nehmen.

Die Lichtabsorption durch die Atmosphäre suchten Saussure und Bouguer zu messen. Bouguer findet aus Beobachtungen der Intensität des Mondlichts in verschiedenen Zenithabständen, daß das senkrechte Licht durch den Einfluß der Atmosphäre auf 0,8148 seiner Intensität reducirt werde. Lambert, Leslie, Ritchie, J. Herschel und Kämtz¹⁾ suchten durch das Thermometer (Actinometer) die Lichtabsorption zu messen, indem sie, wie es scheint, für Licht und strahlende Wärme gleiches Verhalten voraussetzten. Fast übereinstimmend geben sie die GröÙe des Wärmeverlustes auf etwa ein Drittel an, die gesammte zur Erdoberfläche gelangende Wärme auf 0,76 bis 0,59 der an der Gränze der Atmosphäre vorhandenen²⁾. Da man weiß, daß Licht und Wärme von verschiedenen Stoffen in verschiedenem Maasse absorbirt werden, so geben alle diese Versuche keine befriedigende Grundlage, um eine Rechnung darauf zu gründen; und die von Saussure und Bouguer sind nicht genau genug.

Wenn nun auch ein Theil dieses Wärmeverlustes den festen oder tropfbaren Körpern der Atmosphäre zuzuschreiben ist, so hat man doch für die GröÙe dieses Antheils keinen hinlänglichen Anhalt. Wenn ein nur einigermaßen beträchtlicher Theil derselben den Dunstkörperchen zufiele,

1) Meteorologie III, 1—24.

2) Auch die neueren Messungen*) von Pouillet, Quetelet und Alt-
haus ergeben ungefähr dieselben Zahlen.

*) E. E. Schmid, Lehrbuch der Meteorologie §. 185—188.

so müßten diese so viel Wärme aufnehmen, daß sie ihre Tropfbarkeit nicht beibehalten können.

Ob Luft oder Wasserdampf, Licht- oder Wärmestrahlen stärker absorbiren, ist meines Wissens noch nicht ermittelt. So viel scheint aber ausgemacht, daß Clausius mit Unrecht die Gesamtmasse des unterwegs verschwundenen Lichts auf Rechnung der Dunstkörperchen setzt.

Um zu ermitteln, welcher Antheil an der Lichtzerstörung den festen oder tropfbaren Körpern der Atmosphäre zukommt, dürfte der richtigste Weg seyn (wie aus der Arbeit von Clausius zu folgern ist), die Lichtstärke des blauen Himmels mit der der directen Sonnenstrahlen zu vergleichen.

Die Arbeit von Clausius spricht sogar gewissermaassen für die Existenz solider Dunstkügelchen. Aehnlich, wie nach derselben die Sonne unserm Auge erscheinen müßte, wenn die Atmosphäre solide Tröpfchen enthielte, erscheint sie in der That hinter leichtem niedrig gehendem Gewölk oder hinter dem condensirten Wasserdampfe einer Locomotive, ja auch beim Durchgange durch den Nebel.

In Folge der überzeugenden Thatsachen, die Brücke¹⁾ anführt, drängt sich Clausius²⁾ der Gedanke auf, ob etwa »sehr kleine Körperchen nicht mehr nach den gewöhnlichen Brechungs- und Reflexionsgesetzen wirken«. Offenbar ist kein Grund zu denken, warum in kleinen Kugeln das Licht anders gebrochen und reflectirt werden sollte, als in großen, außer, wenn die Kugeln so klein werden, daß Interferenzen eintreten. Nun meint Clausius, die Dunstkörperchen, die nach Kämtz³⁾ einen Durchmesser von 0,011 bis 0,054^{mm} zeigen, seyen zu groß, um Interferenzen zu ermöglichen; an der angeführten Stelle spricht aber Kämtz nur von denjenigen Dunstkörperchen, welche die Höfe um Sonne und Mond hervorbringen, also Verdunklung des Himmels oder Wolken erzeugen, auch die Schärfe der Umrisse der Gestirne beeinträchtigen und als Vorboten des Regens gelten.

1) Pogg. Ann. Bd. 88, S. 382.

2) Pogg. Ann. Bd. 88, S. 554.

3) Meteorologie III, 99.

Offenbar können diese Körperchen (Tröpfchen) ihre Größe, wie jedes Ding in der Welt, nur allmählich erlangt haben, und so leuchtet ein, daß sie gerade am reinen blauen Himmel kleiner als in der Wolke seyn müssen. Aus den Angaben von Kämtz geht nur hervor, daß sie jene Größe erreichen müssen, wenn sie sichtbare Höfe bilden sollen.

Von dem schwachen durch sehr kleine Dunstkügelchen zerstreuten Lichte in der Atmosphäre dürfte, ähnlich wie von sehr kleinen oder entfernten Sternen, nur ein sehr geringer Theil in unser Auge gelangen, der dann nicht im Stande seyn würde, die scharfen Umrisse der Gestirne merklich zu stören.

Clausius leitet ferner die Morgen- und Abendröthe her aus dem Durchgange des Lichts durch Dunstbläschen. Die unzweifelhafte Thatsache, daß feste Körperchen dieselbe Röthung hervorbringen, daß die Sonne hinter Staub, Höhenrauch, Scirocco usw. ebenso geröthet erscheint, wie am Morgen- und Abendhimmel, zeigt hinlänglich, daß diese Deduction als Beweis für die Dunstbläschen nicht Stich hält. Zudem hat Lommel¹⁾ gezeigt, daß sich die Röthe vollkommen durch Beugung des Lichts, also auch unter Annahme solider Tropfen erklären läßt.

Um die Entstehung der Tropfen aus den angeblichen Bläschen zu erklären, hat man nur zwei Vermuthungen. Entweder verdicken sich die Wände allmählich, wie Bravais annimmt; dann müßte aber in jedem Tropfen ein Luftbläschen bleiben, das zumal bei feinem Regen auf spiegelnder Wasseroberfläche nicht unbemerkt bleiben könnte. An eine Aufsaugung dieser Luft ist nicht zu denken: es wäre die äußerste Sonderbarkeit, wenn bei der unbedingten Freiheit der Luft- und Wassermoleküle in der Atmosphäre ein Wasserhäutchen erst Luft (so zu sagen) einfangen sollte, um sie dann mit Gewalt wieder auszupressen, zumal da dieß oft, z. B. über dem aufsteigenden Luftstrome (in der Windstillenregion) und an kalten Berggipfeln in sehr kurzer Zeit geschehen müßte. Bravais selbst folgert aus seiner

1) Pogg. Ann. Bd. 135, S. 109.

Hypothese, daß dem eigentlichen Regenbogen ein weißer in hohlen Tropfen gebildeter Bogen vorausgehen müsse, den wohl Niemand gesehen hat.

Oder die Tropfen müßten entstehen durch Vereinigung mehrerer Bläschen. Aus zusammenfließenden Bläschen pflegt aber kein Tropfen zu entstehen, sondern ein größeres Bläschen oder ein Schaum, und wenn man auch zugesteht, daß durch raschen Zusammenstoß zwei Bläschen zugleich zerpringen und so ein Tröpfchen bilden können, so ist es doch unwahrscheinlich, daß dieser Vorgang sich so oft wiederholte, wie es zur Bildung eines Regens nöthig wäre. Und die Bläschen, die den Tropfen vergrößern sollen, würden sich in Bläschenform an den Tropfen anlegen und nicht sofort zerplatzen, sondern an dem fallenden Tropfen einen schaumigen Schweif bilden.

Ich glaube hiermit dargethan zu haben, daß alle die Gründe, die man für die Bläschenform vorgebracht hat, nicht stichhaltig sind und daß daher die Annahme der Bläschen, bei ihrer großen inneren Unwahrscheinlichkeit, völlig zu verwerfen ist.

Noch einen besonderen treffenden Grund gegen die Möglichkeit der Dunstbläschen entnimmt Waller¹⁾ dem Umstande, daß die Dunstkörperchen die Fähigkeit besitzen, zu krystallisiren, was eine ruhige Ablagerung der Theile erfordert, die schwerlich denkbar wäre, wenn die in ihnen enthaltene Luft im Momente der Krystallisation entweichen müßte. *„It will be seen below that the globules of vapour possess the power of depositing themselves in a crystalline form, which requires a tranquil deposition of particles, such as could scarcely be deemed possible, if the air contained in each had to escape at the moment of its crystallization.“*

Ich glaube auch, man hat übersehen, daß Blasen erfahrungsmäßig nicht durch Verdunstung (unbegränzte Verdünnung ihrer Wände), sondern durch plötzliches Zerplatzen verschwinden, wobei die Flüssigkeit, die die Wand des

1) *Philosophical Magazine* t. XXVIII, p. 100

Poggendorff's Annal. Bd. CXLIV.

Bläschens bildete, nothwendig Tropfengestalt annimmt. Da nun eine Wolke in steter Auflösung und Neubildung begriffen ist, indem fortwährend Dunstkörperchen neu entstehen und vergehen, so würden, falls die Wolke aus Bläschen bestände, durch das massenhafte Zerplatzen derselben zahllose feine Tröpfchen entstehen, so dafs die Wolke an der Seite, wo sie sich auflöst, immer von einer Tröpfchenschicht umhüllt seyn müfste. In dieser Tröpfchenschicht müfste, wenn Kratzenstein's Ansicht richtig wäre, gelegentlich ein wirklicher Regenbogen entstehen, so dafs letzterer an Wolken häufig gesehen werden müfste.

Versuchen wir nun, uns über die Entstehung und Beschaffenheit der Dunstkörperchen eine Ansicht zu bilden, die an bekannte physikalische Vorgänge anschliesst und den Erscheinungen entspricht.

1) *Die Wasserdünste der Atmosphäre bestehen sämtlich aus gröfseren oder kleineren soliden Tröpfchen.*

Wir nehmen an, dafs nicht, wie durch plötzlichen Zauber, um ein gröfseres »Luftkugeln« eine zusammenhängende Wasserhülle sich niederschlägt, sondern dafs sich anfangs einzelne wenige Wassermoleküle einander nähern und durch ihre Anziehung auf benachbarte allmählich ein Tröpfchen bilden, das natürlich anfangs und unter günstigen Verhältnissen längere Zeit so klein ist, dafs es selbst unter unsern stärksten Vergröfserungen unsichtbar bleibt. Diese Tröpfchen entsprechen den feinsten Niederschlägen in den Brücke'schen Versuchen. Ihnen ist die blaue Farbe des Himmels zuzuschreiben¹⁾: je höher der Beobachtungspunkt und je trockner die Luft über demselben, je weniger sie also Dunstkugeln enthält, desto dunkler wird der Himmel; daher erscheint derselbe in dem trocknen aufsteigenden Luftstromen des persischen Hochlands fast schwarz.

Die Bildung solcher Tröpfchen hat Waller²⁾ an verschiedenen Substanzen verfolgt. »I have endeavoured to

1) Auch feine feste Körperchen können zu dieser blauen Farbe beitragen.

2) *Phil. Mag. t. XXVIII, p. 100.*

for the globules of water on glass and other substances, so as to be enabled to submit them to microscopic inspection, but from their volatile nature and other causes have not succeeded. However it is easy to do so with almost any other volatile substance; and I have examined several in this way without detecting the slightest appearance of a vesicular structure. Mercury is deposited under the form of globular particles, with a metallic lustre, whose diameter is $\frac{1}{300}$ th. of a millimetre, in which I have never detected any internal cavity by the most careful examination. Flour of sulphur is found to consist of solid globules, several of which adhere together; when acted upon by a gentle solvent, their external portion is dissolved, and their remains a regular octahedron. Bei diesen Versuchen wurde das Quecksilber in einem Gefäße bis 90° C. erhitzt und dann der Abkühlung überlassen. Eine Glasplatte wurde in 4 Zoll, beim zweiten Versuche in 8 Zoll Höhe darüber gedeckt; beim dritten Versuche nahm Waller »a common Daguerreotype plate«; in allen drei Versuchen war der Erfolg derselbe.

In ähnlicher Weise wird der Wasserdampf an festen Körpern in Tröpfchen niedergeschlagen, deren allmähliges Verdunsten sich an der angehauchten Fensterscheibe mikroskopisch beobachten läßt.

Nebel und Wolken sind Gemenge aus Tröpfchen, die, was alle Beobachter bestätigen, sowohl in verschiedenen Wolken, als auch innerhalb derselben Wolke von ungleicher Größe sind. Die Verschiedenheit im Aussehen der Wolken rührt theils von ihrer Dichtigkeit, theils von der Größe der Tropfen, theils von weiter unten zu besprechenden Umständen her. Großtropfige Wolken verwischen die Umrisse der Gestirne stärker als feintropfige. So erschienen in den Brücke'schen Versuchen durch die aus größeren Tropfen bestehende Mastixmilch die Umrisse merklich undeutlich, durch die feintropfige Mastixlösung völlig scharf. Um Höfe um Sonne und Mond zu bilden, müssen die Tropfen eine bestimmte Größe erlangt haben.

Man täuscht sich leicht über die Gröfse der Tropfen, weil sie, wie die Sonnenstäubchen, in heller Beleuchtung gröfser erscheinen als sie sind.

Wenn sich die farbigen Lichteindrücke der Tropfen im Auge zu einem Regenbogen vereinigen sollen, so ist eine gewisse Winkel- oder Bogendistanz derselben erforderlich. Gröfse Regentropfen, die der Natur der Sache nach weiter von einander abstehen müssen, geben daher erst in weit gröfserer Ferne, als die einander sehr nahen Tröpfchen des Wasserstaubes, einen Bogen und dieser verschwindet zuletzt immer, wenn nur die Entfernung zu einer bestimmten Gröfse angewachsen ist.

Die Gröfsenverschiedenheit der Tropfen innerhalb einer Nebelmasse und ihre unregelmäßige Bewegung, sowie die Interferenzen, denen die aus sehr kleinen Tropfen sehr nahe aneinander austretenden farbigen Lichtstrahlen unzweifelhaft ausgesetzt sind, verstärken die Lichtzerstreuung und erschweren die Bildung des Regenbogens.

2) *Die innerhalb der Atmosphäre schwebenden Wassertöpfchen überziehen sich mit einer mehr oder minder feinen Luftschicht, die nach verschiedenen Zuständen der Atmosphäre verschieden seyn mag. Diese Hülle ist dem Zusammenfliefsen der Tröpfchen, sowie der Bildung des Regenbogens hinderlich.*

Es ist eine bekannte Thatsache, dafs Platinmohr und -schwamm, klare Holzkohle usw., Gase in so grofser Menge absorbiren, dafs man kaum annehmen kann, dafs letztere ihre Gasform beibehalten. Ebenso absorbirt die Ackerkrume¹⁾ grofse Quantitäten von Wasserdampf, Ammoniak usw. Die neuere botanische Physiologie²⁾ beweist, dafs die Pflanze ihre Nahrung nicht sowohl aus den im Wasser des Bodens gelösten, sondern aus den an den Körnchen der Ackerkrume, sey es durch Adhäsion, sey es durch che-

1) Liebig, Naturgesetze des Feldbaues 1865, S. 68 ff. Liebig, chemische Briefe (Neuere Auflage) 38, 39.

2) Julius Sachs, Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen (§ 52, 52^b mit den Abbildungen auf S. 184 bis 186).

mische Affinität verdichteten Stoffen entnehmen: bei starker (800facher) Vergrößerung beobachtet man, daß die Haut der Wurzelfäserchen sich dicht an die Körnchen des Bodens anschmiegt. Diese Absorption der Gase (und flüssigen Stoffe) erklärt man sich, gewiß mit Recht, so, daß jedes Körnchen des feinzertheilten festen Körpers mit einer Gasatmosphäre sich umhüllt und dieselbe mit beträchtlicher Kraft festhält.

Es ist außer Zweifel, daß die in der Luft schwebenden Kohletheilchen aus der Atmosphäre Wasser absorbiren. Durch dasselbe wird der Ruß der Schornsteine bei feuchter Luft bald zum Niederfallen gebracht. Sehr feiner Rauch erscheint blau, so lange die Rauchkörperchen trocken sind, mehr und mehr graubraun, je mehr sie Wasser aufgesogen haben; daher die alltägliche Erfahrung, daß der Rauch aus dem feuchten Vorderrande der Cigarre graubraun erscheint, dagegen der aus dem brennenden Ende blau, welcher Unterschied selbst da deutlich sichtbar ist, wo beide durcheinander wirbeln.

Derselben Absorption ist wahrscheinlich die regenwidrige Wirkung des Höhenrauchs zuzuschreiben¹⁾. Die Witterung pflegt aus drei Ursachen beim Höhenrauch trocken zu seyn: 1) weil bei trockner Luft die Moore angebrannt worden, 2) weil, wenn die Luft trocken ist, der Höhenrauch länger in der Luft bleibt und sich über eine größere Fläche verbreitet, also länger und von zahlreicheren Beobachtern gesehen wird, 3) weil in Folge der Wasserabsorption durch den Höhenrauch die Luft in der That trockner wird.

Dem wird auch nicht widersprochen durch den von Prestel²⁾ gelieferten Nachweis, daß häufig das Moorbrennen durch Regen und Gewitter unterbrochen wird. Der Regen muß sogar durch den über der brennenden Fläche aufsteigenden Luftstrom begünstigt werden und daher an Ort und Stelle des Brandes relativ häufig seyn. Aber bald

1) Kämtz III, 209 bis 217.

2) Petermann's geogr. Mittheilungen 1858, S. 109.

nach seinem Entstehen durch Regen niedergeschlagener Rauch kann in entfernteren Gegenden keinen Höhenrauch bilden, letzterer wird also nur bei trockener Witterung erscheinen. — Die Aufsaugung von Wasserdampf durch den Rauch kann natürlich den Regen nur erschweren, nicht absolut verhindern.

Es scheint mir eine fehlerhafte Auffassung, daß die Luft in die »Poren« der Körper eindringe; wenigstens an der Ackerkrume überzeugt man sich, daß die Gasschicht um die feineren Körnchen eine Hülle, eine Atmosphäre, bildet. Sehr fein zertheilte Körper absorbiren mehr, weil sie mehr Oberfläche darbieten.

Wenn man in ein hohes Glas voll Wasser Zuckerstückchen wirft (also Zuckerwasser macht), so steigt die im Zucker enthaltene Luft in Blasen auf, welche an der Oberfläche sofort zerplatzen. Beobachtet man die Stelle, wo eine Blase zerplatzte, so zeigt sich, daß ein zarter geschlängelter Faden von Zuckerlösung sich in das Wasser niedersinkt. Bei genauer Aufmerksamkeit bemerkt man auch, daß ein solcher Faden jedem aufsteigenden Bläschen anhängt und nachfolgt, wie der Schweif einem Kometen; daß dies keine Augentäuschung ist, ergiebt sich leicht daraus, daß dieser Faden sich endlich auch schlängelt und herabsinkt. Offenbar nimmt das Luftbläschen aus dem Zucker eine Hülle von concentrirter Zuckerlösung mit, die allmählich durch den Widerstand des Wassers abgestreift wird, aber an der Oberfläche noch beträchtlich genug ist, um einen sichtbaren Faden zu bilden.

Auch Tropfen überziehen sich mit einer ähnlichen Atmosphäre, die gleichfalls ziemlich fest anhaftet. Die Quecksilbertröpfchen auf einem Brett oder Teller vereinigen sich nicht von selbst, sie können sich dicht aneinander anlegen, ja einander abplatten, ähnlich (obgleich in weit niederem Grade) wie die Bläschen im Wasser- oder Seifenschaume, ohne zusammenzufließen: man muß einige Gewalt anwenden, um sie zur Vereinigung zu zwingen. Dasselbe beob-

achtete Waller¹⁾, wie am Quecksilber, auch an den Schwefelblumen. Ebendasselbe bemerkt J. Plateau²⁾ über die klassisch gewordenen Oelkugeln: »Um solchergestalt zwei Kugeln (unter mit Spiritus versetztem Wasser) zu vereinigen, genügt es nicht, sie mit einander in Berührung zu bringen; sie können sich lange Zeit berühren, ohne zu einer einzigen zusammenzufließen; man würde sagen, sie wären mit einem, ihrer Vereinigung sich widersetzenden Häutchen umgeben. Man muß also das (mit Oel benetzte und in die eine Kugel gesteckte) Ende des Metalldrahts auch in die zweite Kugel bringen, wie wenn man die Scheidewand durchbrechen wollte, die beide Massen trennt. Alsdann geschieht die Vereinigung sogleich«.

Wir sehen also, dafs an den Tröpfchen, wie an den Krümchen der Ackererde, ein dünner Ueberzug eines fremden Stoffes haftet, eine Art Atmosphäre bildet, die dem Zusammenfließen hinderlich ist. Ob dies nun eine Folge derselben Adhäsion³⁾ ist, vermöge deren sich das Glas mit der bekannten oft nur mit grofser Mühe entfernbaren Luftschicht überzieht, oder Folge einer Art von chemischer Verwandtschaft, vermöge deren verschiedene Gase mit ungleicher Kraft angezogen werden, kommt hier nicht in Betracht.

Denken wir uns nun in ruhiger oder sanft bewegter, zwar gesättigter, aber wegen niederer Temperatur dampf- armer Luft Wassertröpfchen gebildet, so behalten diese Zeit, sich, ehe sie sich mit andern vereinigen, mit einer dünnen Luftschicht zu überziehen. Die Nebel und langsam gebildeten Wolken werden daher aus solchen mit Luft überzogenen Wassertröpfchen bestehen. Diese Luftatmosphäre ist nebenbei dem Entweichen der Wärme des Tröpfchens hinderlich und befähigt dasselbe, sich längere Zeit auch in starker Kälte tropfbarflüssig zu erhalten.

Diese Gashülle kann auch die optischen Erscheinungen modificiren, eine Einwirkung, die mit Verkleinerung der

1) *Phil. Mag.* t. XXVIII, p. 100 ff.

2) *Pogg. Ann.*, Ergänzungsbd. II, Bd. 73, S. 254 Anm.

3) *Kämtz* I, 395.

Tropfen zunimmt. Daher wird zwar das schwache Licht kleiner Tropfen, nicht aber das intensive z. B. beim Regenbogen zurückstrahlende Licht grösser Tropfen merklich beeinflussen werden.

Nach Quincke¹⁾ beträgt der Radius der Wirkungssphäre der die Capillaritätserscheinungen verursachenden Molecularkräfte — also muthmaasslich die Dicke unserer Lufthülle — etwa ein Zehntel der mittleren Lichtwelle.

3) Solche gasumhüllte Tröpfchen bilden häufig *susammenhängende Conglomerate oder Complexe*²⁾, die durch gegenseitige Annäherung und Anziehung entstehen und sich mit dem Schaume vergleichen lassen, nur dass umgekehrt das Wasser den Inhalt und die Luft die Hülle bildet.

Wenn man ein wenig Oel mit Wasser schüttelt, so entsteht eine milchige Flüssigkeit, indem sehr zahlreiche Oeltropfen von verschiedener Grösse in dem Wasser schweben. Man kann tagelang das Gemisch stehen lassen, ohne dass die kleineren der (specifisch leichteren) Oeltröpfchen auf die Oberfläche steigen, selbst nach Wochen bleibt die Flüssigkeit durch die feinsten Tröpfchen getrübt. Unterm Mikroskop zeigt sich, dass an den grösseren Tropfen oft kleinere anhaften, dass, so zu sagen, zusammengesetzte Tropfen entstanden sind. Eben solche Complexe erwähnt Brücke bei Mittheilung seiner schönen Versuche. Er sagt³⁾ nämlich in Bezug auf die Niederschläge des Thonerdehydrats, die in feinster Zertheilung die blaue Farbe sehr schön zeigen: »Aber immer zerstreuen sie das Licht unverhältnissmässig stark, da es nie gelingt, die Trübung gleichmässig zu vertheilen, sondern *sich immer Kugeln und unregelmässige Ballen bilden*«. Dasselbe bemerkt Waller⁴⁾ über die Schwefelblumen: *Flour of sulphur is found to consist of solid globules, several of which adhere together*. Noch deutlicher über die Quecksilbertröpfchen: »From the manner

1) Pogg. Ann. Bd. 137, S. 413.

2) Berger in Pogg. Ann. Bd. 118, S. 467.

3) Pogg. Ann. Bd. 88, S. 384.

4) Phil. Mag. t. XXVIII, p. 100 ff.

in which they are deposited, they appear to exert an influence over each other, as they are frequently found in groups of three or four or more". Rofs (*Microscopical Society Dec. 1843*) glaubte darin eine hexagonale Anordnung zu erkennen, was Waller bestreitet.

Bei den unregelmäßigen Bewegungen der luftumhüllten Nebeltröpfchen durch einander, werden häufig einzelne einander so nahe kommen, daß sie sich in Folge gegenseitiger Anziehung vereinigen, wie die Bläschen auf der Kaffeetasse. Während sie bei heftiger Bewegung zu einem Tröpfchen zusammenfließen mögen, werden sie sich, wenn die Annäherung langsam genug ist, an einander legen, ein zusammengesetztes Tröpfchen bilden. Solche Kugeln, aus luftumhüllten Tröpfchen gebildet, müssen auch im Ruhezustand weiß aussehen. Das durchgehende und reflectirte Licht wird in solchen Nebelmassen offenbar »unverhältnißmäßig stark« zerstreut, stärker als in regelrechten Tropfen.

4) Dem Fallen der Dunstkörperchen sind nicht bloß aufsteigende Luftströmungen hinderlich, sondern auch Adhäsionsverhältnisse.

Lamont, in seinen interessanten Untersuchungen über die Dalton'sche Dampftheorie¹⁾, zeigt durch entscheidende Versuche, daß die Wasserdämpfe nur sehr langsam sich in ruhiger Luft ausbreiten, daß sie auf die Luft einen erheblichen Druck ausüben und dieselbe von der Wasseroberfläche zurücktreiben. Schon Halley²⁾ erwähnt der Dampfschicht, »Fleece of Vapour«, die bei ruhiger Luft die Wasseroberfläche von der Luft trenne und die Verdunstung ganz bedeutend vermindere. Dasselbe scheint Leibnitz im Sinne zu haben, wenn er (wie oben bemerkt) sagt: »Aër, ut omne fluidum, aliquem habet gradum tenacitatis seu nexus partium, ut vi aliqua quantulacunque opus sit ad perrumpendum«. Allgemein bekannt ist, daß durch Kochen des Wassers die Luft über der Wasseroberfläche völlig aus dem Kochfläschchen ausgetrieben werden kann.

1) Pogg. Ann. Bd. 118, S. 177.

2) Phil. Trans. t. XVIII, p. 183.

Dieses läßt sich nur so erklären, daß die Wassermoleküle nicht widerstandslos zwischen die Lufttheilchen eindringen, sondern daß sie auf dieselbe einen Druck ausüben, sie vor sich herschieben. Das aufstrebende Wasser-(Dampf)theilchen wird also durch den Trägheitswiderstand der mitzuschleppenden Lufttheilchen aufgehalten.

Dasselbe geschieht an Tröpfchen: so wie die Luft dem steigenden Wasserdampfe Widerstand leistet, so auch dem fallenden Wassertropfen. Wir haben oben gesehen, daß das Luftbläschen im Zuckerwasser eine Quantität Zuckerlösung mit aufwärts führt und durch dieselbe offenbar im Steigen behindert wird. So wird jedes bewegte Tröpfchen durch die mitgeschleppte Lufthülle in der Bewegung gehemmt.

Ohne solchen Widerstand könnten nicht feine Quecksilbertröpfchen auf Wasser schwimmen, noch erdige Körperchen oder Oeltröpfchen oder Luftbläschen im Wasser, noch die Stäubchen in ruhiger Luft, noch die Salmiakkrystalle auf der Oberfläche der Salzsäure¹⁾. Eine Erschütterung ist oft hinreichend, diesen Widerstand zu brechen: ein Stoß an das Gefäß bringt die Luftblasen zum Steigen, die Salmiakkrystalle zum Fallen, ein Donnerschlag hat plötzliche Verstärkung des Regens zur Folge. Man kann sich dieses so vorstellen, daß durch die Erschütterung die adhären den Theilchen von einander gerissen oder in dem widerstehenden Medium Lücken gebildet werden, die das Fallen der Körperchen einleiten.

Der Widerstand in der Atmosphäre scheint nicht zu allen Zeiten gleich groß zu sein, je nach Zuständen der Luft, die der näheren Ergründung wohl noch entgegen sehen.

Daß sich über dem heißen Wasser des Kochfläschchens deutliche Dunstkörperchen, Nebel, bilden in Luft, aber nicht in Wasserdampf²⁾, führt auf den Gedanken, daß beim Kochen des Wassers unter verschiedenen Gasen die Nebel

1) Waller im *Phil. Mag.* t. XXVIII, p. 100.

2) Vgl. Pogg. Ann. Bd. 118, S. 457.

um so schwächer erschienen, je stärker das Gas vom Wasser resorbiert wird. Ich habe mich bemüht, dies durch den Versuch nachzuweisen. Die Nebel zeigten sich im Wasserstoff ungefähr ebenso wie in atmosphärischer Luft, in Kohlensäure aber sehr schwach. (In wie weit hiebei Beobachtungsfehler influirt haben, dürfte sich bei Wiederholung dieser Versuche durch geschicktere Hände entscheiden lassen.) Es scheint, daß stark resorbirende Medien der Bewegung der Tröpfchen zu wenig Widerstand entgegensetzen, so daß diese sich niederschlagen, ehe sie dem Auge sichtbar werden.

Diese Verhältnisse können auch beim Entstehen des Regens von Einfluß seyn. Regen mag häufig oder gewöhnlich durch Vereinigung bisher getrennter Dunstkörperchen entstehen, ähnlich wie nach Waller ¹⁾ die Hagelkörner durch Zusammenkitten einzelner Eisklumpchen (Graupeln) gebildet werden. Besondere, die Adhäsionsverhältnisse, modificirende Zustände der Luft werden diese Vereinigung begünstigen. Oft will aus schweren Wolken kein Regen kommen; sind erst einige Tropfen gefallen und haben so den Widerstand überwunden und einen Weg gebahnt, so folgt der Regen reichlicher. Waller ²⁾ erinnert, nach meinem Urtheile recht glücklich, an das plötzliche Zusammenfließen der Fettkügelchen beim Buttern; sowie dieses sich schnell über die ganze Masse verbreitet, so erfasset der einmal entstandene Regen in kurzer Zeit die ganze Wolke.

1) *Phil. Mag. t. XIX, p. 105.*

2) *Phil. Mag. t. XXVIII, p. 105.*

V. *Elementare Ableitung der Grundgleichung
der dynamischen Gastheorie;
von Prof. Dr. L. Pfaundler in Innsbruck.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. Sitzungsber. der k. Akad. der Wiss.
zu Wien, Bd. LXIII.)

Die Gleichung

$$p = \frac{nm c^2}{3v},$$

welche den Zusammenhang zwischen Anzahl: n , Masse: m und Geschwindigkeit: c der im Volum: v enthaltenen Gas-moleculc und dem durch ihre Stöße auf die Flächeneinheit ausgeübten Drucke: p ausdrückt, wurde bekanntlich zuerst von Krönig¹⁾, jedoch nur unter der vereinfachenden Annahme, daß sämtliche Moleculc sich innerhalb eines rechtwinkligen Parallelepipeds und zwar senkrecht auf seine Wände bewegen, abgeleitet. Clausius²⁾ hat sodann einen strengeren Beweis für den allgemeinen Fall, daß die Stöße unter allen möglichen Richtungen stattfinden, geliefert. Seine Ableitung bietet aber dem Verständnisse einige Schwierigkeit und ist insbesondere allen Jenen, welche mit der Integralrechnung nicht vertraut sind, unzugänglich.

Das außerordentliche Interesse der in Rede stehenden Gleichung insbesondere für den Chemiker, dem meistens nur elementare mathematische Kenntnisse zu Gebote stehen, läßt den Wunsch nach einer allgemein gültigen, aber doch elementaren Ableitung begreiflich finden.

A. Naumann³⁾ hat zu diesem Zwecke in seiner Thermochemie einen von Zöppritz zusammengestellten Beweis veröffentlicht, der aber auch nur für gewisse vereinfachende Bedingungen eingerichtet ist⁴⁾.

1) Pogg. Ann. Bd. 99, S. 315.

2) Pogg. Ann. Bd. 100, S. 353.

3) Grundriß der Thermochemie von A. Naumann S. 28.

4) Derselbe enthält außerdem einen Verstoß, der aber im Schlusresultat wieder beseitigt ist. Nach einer brieflichen Mittheilung des Hrn. Ver-

Ich glaube daher nicht etwas Unnützes zu thun, indem ich einen ganz elementar gehaltenen aber doch, wie ich glaube, strengen Beweis, den ich mir vor mehreren Jahren für meine Vorlesungen zusammengestellt habe, veröffentliche.

A. Das Gefäß ist eine Kugel.

Am einfachsten gestaltet sich die Ableitung für eine hohle Kugel, von der natürlich angenommen wird, daß sie vollkommen glatt sey.

Es sey Fig. 2, Taf. II ABD ein Durchschnitt der Kugel durch ihren Mittelpunkt C ,

der *Radius* der Kugel habe die Größe R

die *Anzahl* der Molecüle betrage n

die *Masse* eines Molecüls sey m

ihre (mittlere) *Geschwindigkeit* sey c

ihre *Druck* auf die Flächeneinheit p

a) Wir berechnen zuerst den Druck p unter der Annahme, daß alle Molecüle sich durch den Mittelpunkt C bewegen. In diesem Falle sind die zwischen zwei Stößen liegenden Wegstrecken

$$= 2R.$$

Zur Zurücklegung dieses Weges ist erforderlich die Zeit

$$t = \frac{2R}{c}.$$

Die Anzahl der Stöße für die Zeiteinheit beträgt dann

$$\frac{1}{t} = \frac{c}{2R}.$$

fassers ist der letzte Absatz S. 30, Zeile 3 bis 9, dieser Entwicklung zu ersetzen durch folgenden Passus:

»Da außer den $\frac{n}{6}$ Molecülen, welche in einem gegebenen Augenblick e sich gegen die Wand A bewegen, in der Folge auch noch die $\frac{n}{6}$, welche sich in diesem Augenblicke gegen die Wand A' bewegen, zum Stoße gegen A gelangen, so wird die gesammte auf die Flächeneinheit von A in der Zeiteinheit ausgeübte bewegende Kraft,

$$p = 2K_A = \frac{nm c^2}{3v}.$$

Die Wirkung eines einzigen Stosses wird ausgedrückt durch
 $2mc$.

Es beträgt demnach die Wirkung von N Stößen

$$2Nmc = \frac{mc^2}{R}.$$

Demnach ist die Wirkung von n Moleculen in der Zeiteinheit

$$= \frac{nmc^2}{R}.$$

Diese Wirkung vertheilt sich auf die ganze Oberfläche vom Inhalt

$$4R^2\pi.$$

Folglich trifft es auf die Flächeneinheit die Wirkung

$$\frac{nmc^2}{3R^2\pi}.$$

Da nun $v = \frac{4R^2\pi}{3} =$ dem Volum der Kugel, so ist die Gesamtwirkung aller Stöße in der Zeiteinheit auf die Flächeneinheit, das ist der Druck:

$$p = \frac{nmc^2}{3v}.$$

b) Moleculle, welche sich nicht durch das Centrum C , sondern nach irgend einer andern Richtung, z. B. AD bewegen, können durch die Reflexionen an der Wand nie aus der Ebene, in der sie sich bewegen, herausgebracht werden, und müssen (wenn sie unterwegs nicht zusammenstossen) stets gleich lange Wege, wie die Sehne AD zurücklegen. Es läßt sich nun leicht zeigen, daß die Gesamtwirkung sämtlicher Stöße eines solchen Moleculs ebenso groß ist, wie die eines durch den Mittelpunkt gehenden. Der Weg zwischen zwei Stößen beträgt

$$2R\cos\alpha.$$

Die Zeit zwischen zwei Stößen beträgt

$$t' = \frac{2R\cos\alpha}{c}.$$

Die Anzahl der Stöße in der Zeiteinheit

$$N = \frac{1}{t'} = \frac{C}{2R \cos \alpha}.$$

Die Wirkung eines Stosses ist gleich der senkrechten Componente

$$= 2mc \cdot \cos \alpha.$$

Folglich ist die Wirkung in der Zeiteinheit

$$= \frac{2mc^2 \cos \alpha}{2R \cos \alpha} = \frac{mc^2}{R}.$$

Diese Wirkung $\frac{mc^2}{R}$ wurde früher ebenfalls für die in der Zeiteinheit erfolgenden Stöße eines durch den Mittelpunkt gehenden Molecüls gefunden. Es ist demnach unabhängig von der Richtung der Stöße

$$p = \frac{nm c^2}{3v}.$$

Wird durch Zusammenstöße der Molecüle untereinander ihre Richtung geändert, so kann, da von vorn herein keiner der verschiedenen Richtungen und keinem der Oberflächentheile eine bevorzugte Stellung zukommt, hiedurch bei der grossen Anzahl der Molecüle und Stöße in meßbarer Zeit keine bleibende Störung im Druck auf verschiedene Stellen hervorgehen. (Verminderung der lebendigen Kraft der fortschreitenden Bewegung durch nicht centrale Stöße muß durch eine Vermehrung derselben bei andern Molecülen compensirt werden, wie Clausius zuerst ausgeführt hat.) Ebenso ist einzusehen, das eine vorhandene Rauigkeit der inneren Oberfläche wohl unzählige Einzelabweichungen von der angenommenen regelmässigen Reflexion, nicht aber eine Aenderung im Gesamtergebnisse zur Folge haben kann, da angenommen werden muß, daß die Abweichungen nach verschiedenen Richtungen gleich oft vorkommen und sich demnach compensiren.

Eine Aenderung im Gesamtergebnisse könnte am ehesten bei regelmässig geformten Körpern mit ganz glatten Wänden vermuthet werden, welche durch ihren Bau Reflexionen nach gewissen Richtungen zu begünstigen scheinen, oder

welche in ihrer Form von der Kugelgestalt am meisten abweichen (langgestreckte Räume). Wir wollen deshalb die Betrachtung auf solche Gefäße und zwar zunächst auf den Würfel übertragen.

B. Das Gefäß ist ein Würfel.

Im Würfel können vorkommen:

- a) Bewegungen parallel mit je zwei Flächenpaaren, also senkrecht auf ein Flächenpaar.
- b) Bewegungen, deren jede nur mit Einem Flächenpaar parallel ist.
- c) Bewegungen, welche mit keiner Fläche parallel sind.

Der Nachweis der Gültigkeit des Druckgesetzes für den letzten allgemeinen Fall würde die Betrachtung der besonderen Fälle *a* und *b* eigentlich überflüssig machen. Des leichtern Verständnisses wegen sollen aber alle drei Fälle nacheinander behandelt werden.

a) Die Bewegungen erfolgen senkrecht auf ein Flächenpaar. Da keine der Würfelflächen vor der andern etwas Unterscheidendes haben kann, so muß angenommen werden, daß im Durchschnitt zwischen je zwei Flächen der dritte Theil der *n* Moleküle in Bewegung ist.

Ist die Seitenlänge des Würfels *a*, so ist die Wegstrecke zwischen zwei Stößen ebenfalls = *a*

die dazu nöthige Zeit ist = $\frac{a}{c}$

also die Anzahl der Stöße per Zeiteinheit . . = $\frac{c}{a}$

die Wirkung eines Stoßes = $2mc$

die Wirkung der Stöße eines Moleküls in der Zeiteinheit = $\frac{2mc^2}{a}$

die Wirkung der Stöße von $\frac{n}{3}$ Molekülen in der

Zeiteinheit , = $\frac{2nmc^2}{3a}$

diese Wirkung vertheilt sich auf zwei Flächen vom Ge-

sammtinhalt $2a^2$, folglich ist die auf die Flächeneinheit berechnete Wirkung, d. i. der Druck

$$p = \frac{2umc^2}{3a \cdot 2a^2} = \frac{nmc^2}{3a^3} = \frac{nmc^2}{3v}.$$

b) Die Bewegungen erfolgen parallel mit nur einem Flächenpaar, treffen mithin die beiden andern unter schiefen Richtungen. Es seyen Fig. 3 ab, bc, cd, da die Projectionen der vier Würfelflächen, auf welche die Stöße erfolgen, auf die Ebene des Papiers, also $abcd$ die Fläche, mit der die Bewegungen parallel laufen.

Irgend ein Molecül beginne bei e seinen Weg über die Punkte f, g, h, i, k, l , wobei es die Flächen ab und cd unter dem Einfallswinkel α , die andern demgemäß unter $90 - \alpha$ treffe. Da $gh = gh', fh'' = fh'$, so ist der gebrochene Weg von e über f und g nach h gleich dem directen von e nach h' . Ebenso ist der gebrochene Weg ghi gleich dem directen $ig' = ki$. Man erhält daher für die gesammte Wegstrecke, die ein Molecül zwischen den Stößen auf die gegenüberliegenden Wände ad und bc zurücklegt, die Länge $\frac{a}{\sin \alpha}$, für die Wegstrecke zwischen ab und cd die Länge $\frac{a}{\cos \alpha}$. Diese Längen sind durch den Winkel α vollständig bestimmt und unabhängig von der Anzahl der dazwischen erfolgenden Reflexionen an den Seitenwänden.

Die Berechnung des Druckes stellt sich nun nach folgendem Schema:

	Bewegungen zwischen ad und bc	Bewegungen zwischen ab und cd
Weglängen	$\frac{a}{\sin \alpha}$	$\frac{a}{\cos \alpha}$
Zeit zwischen zwei Stößen	$\frac{a}{c \sin \alpha}$	$\frac{a}{c \cos \alpha}$
Anzahl der Stöße in der Zeiteinheit	$\frac{c \sin \alpha}{a}$	$\frac{c \cos \alpha}{a}$

	Bewegungen zwischen <u>ad und bc</u>	Bewegungen zwischen <u>ab und cd</u>
Senkrechte Componente des Stoßes	$2mc \sin \alpha$	$2mc \cos \alpha$
Wirkung der Stöße Eines Moleculs in der Zeiteinheit	$\frac{2mc^2 \sin^2 \alpha}{a}$	$\frac{2mc^2 \sin^2 \alpha}{a}$

Die Wirkung sämmtlicher Stöße, die Ein Molecul in der Zeiteinheit auf alle vier Flächen ausübt, ist demnach

$$= \frac{2mc^2}{a} (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) = \frac{2mc^2}{a}.$$

Von allen Moleculen, die in der Anzahl n sich im Würfel befinden, gelangen (im Durchschnitt) nur $\frac{2}{3}$ zum Stöße auf die beiden Flächenpaare¹⁾. Es ist demnach die Wirkung dieser $\frac{2n}{3}$ Moleculs auf die vier Flächen vom Inhalt $4a^2$

$$= \frac{2n}{3} \cdot \frac{2mc^2}{a} = \frac{4nmc^2}{3a}.$$

Es trifft also auf die Flächeneinheit einen Druck

$$p = \frac{4nmc^2}{3a \cdot 4a^2} = \frac{nmc^2}{3v}.$$

Nach dieser Rechnung könnte es scheinen, als ob zwar wohl der Gesamtdruck auf die Oberfläche dem aus der Gleichung folgenden gleichkommen müsse, dagegen der einzelne Druck auf die eine oder andere Wand größer oder kleiner seyn könnte, da die Ausdrücke $\frac{2mc^2 \sin^2 \alpha}{a}$ und $\frac{2mc^2 \cos^2 \alpha}{a}$ ungleich sind.

- 1) Dieß könnte auf den ersten Blick unrichtig erscheinen, da die Anzahl der zu $abcd$ parallel gehenden Moleculs nur ein Drittel von n beträgt. Man beachte aber, daß, wenn wir die Flächenpaare mit A, A', B, B', C, C' bezeichnen

$$\begin{aligned} \frac{1}{3}n & \text{ Moleculs stoßen auf } A, A', B, B' - - \\ \frac{1}{3}n & \text{ " " " " } A, A' - - C, C' \\ \frac{1}{3}n & \text{ " " " " } - - B, B', C, C' \end{aligned}$$

die Wirkung in Bezug auf zwei Flächenpaare, z. B. A, A' und B, B' , ist dann ebenso groß, als bewegten sich $\frac{1}{3}n$ zwischen diesen Flächen allein,

Man muß aber bedenken, daß die Verschiedenheit, wie sie bei der Beachtung von nur einem Molecül unzweifelhaft hervortritt, bei dem Zusammenwirken vieler wieder verschwinden muß, weil dann Reflexionen unter dem Winkel α ebenso oft für die eine wie für die andere Fläche wiederkehren müssen. Die Factoren $\sin^2 \alpha$ und $\cos^2 \alpha$ kommen deshalb für jede der Flächen in gleicher Anzahl vor und compensiren sich daher jedesmal zu 1. Man könnte auch von vornherein die Wirkung von zwei symmetrisch bewegten Molecülen (d. i. von zwei solchen, welche zwei Nachbarflächen unter denselben Winkeln α treffen), zusammen in Rechnung bringen und fände so ihre Wirkung auf die früher genannten Flächenpaare:

$$\begin{array}{c} \text{Wirkung zweier Molecüle} \\ \text{in der Zeiteinheit:} \end{array} \quad \begin{array}{c} \overbrace{ad \text{ und } bc} \\ \left\{ \begin{array}{c} \frac{2mc^2 \cos^2 \alpha}{a} + \\ \frac{2mc^2 \sin^2 \alpha}{a} \end{array} \right\} \cdot \cdot \cdot \left\{ \begin{array}{c} \overbrace{ab \text{ und } cd} \\ \frac{2mc^2 \sin^2 \alpha}{a} + \\ \frac{2mc^2 \cos^2 \alpha}{a} \end{array} \right\} \\ \hline = \frac{2mc^2}{a} \cdot \cdot \cdot \frac{2mc^2}{a} \end{array}$$

Wirkung der Molecüle auf alle vier Flächen $= \frac{4mc^2}{a}$.

Trifft auf $\frac{2\pi}{3}$ Molecüle $\frac{4\pi mc^2}{a}$, also ebensoviel, wie früher gefunden wurde.

c) Allgemeiner Fall: Die Stöße gehen schief gegen alle Wände.

Vor allem muß auch hier eingesehen werden, daß die Wegstrecken zwischen zwei Stößen auf gegenüberliegende Wände nur abhängen vom Reflexionswinkel, nicht aber von der Anzahl der dazwischen erfolgenden Stöße auf die andern Wände. Man beachte zu diesem Zwecke die Fig. 4, Taf. II.

Die gebrochene Linie $bacc'b'a'$ zeigt den Weg, den irgend ein Molecül zwischen den 6 Wänden zurücklegt. Die Construction dieser Linien in der perspectivischen Zeichnung und die dazu nöthigen Hülfslinien brauchen keine nähere Erklärung. Berücksichtigt man, daß

$$ab = ab'' \text{ und } cb'' = cB$$

dafs ferner $a'b' = a''b'$ und $a''c' = A'c'$, so sieht man ein, dafs der gebrochene Weg von a über C, C', b bis a gleich ist dem geraden Wege von A bis A' , wobei A und A' die Durchschnittspunkte der verlängerten Geraden CC' mit den Ebenen A und A' sind. Ebenso ist die gebrochene Linie von b über a, C, C' bis b' ebenso lang, wie die gerade Verbindung von B mit B' , welche Punkte wiederum die Durchschnittspunkte der verlängerten CC' mit den Ebenen B und B' sind. Der wirklich zurückgelegte Weg eines Molecüls zwischen zwei gegenüberstehenden Wänden ist also stets gleich der directen geraden Verbindungslinie, welche unter dem nämlichen Einfallswinkel zwischen den beiden entsprechend verlängerten Ebenen gezogen werden kann.

Mit Hülfe dieses Satzes ist es nun leicht, die zurückgelegten Wege zu berechnen. Es sey der Winkel, den die Linie CC' mit der Horizontalebene B bildet $= \alpha$, der Winkel, den die Projection von CC' auf die Horizontalebene mit der Ebene A einschließt $= \beta$, so erhält man für die Berechnung des Druckes folgendes Schema:

	Von C bis C'	Von A bis A'	Von B bis B'
Wegstrecken	$\frac{a}{\cos \alpha \cos \beta}$	$\frac{a}{\cos \alpha \sin \beta}$	$\frac{a}{\sin \alpha}$
Zeit zwischen zwei Stößen	$\frac{a}{c \cos \alpha \cos \beta}$	$\frac{a}{c \cos \alpha \sin \beta}$	$\frac{a}{c \sin \alpha}$
Anzahl der Stöße in der Zeiteinheit	$\frac{c \cos \alpha \cos \beta}{a}$	$\frac{c \cos \alpha \sin \beta}{a}$	$\frac{c \sin \alpha}{a}$
Senkrechte Componente eines Stosses	$2mc \cdot \cos \alpha \cos \beta$	$2mc \cos \alpha \sin \beta$	$2mc \sin \alpha$
Wirkung der Stöße eines Molecüls in der Zeiteinheit	$\frac{2mc^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta}{a}$	$\frac{2mc^2 \cos^2 \alpha \sin^2 \beta}{a}$	$\frac{2mc^2 \sin^2 \alpha}{a}$

Summe der Wirkungen der Stöße eines Molecüls auf alle sechs Flächen zusammen

$$\begin{aligned} &= \frac{2mc^2}{a} [\cos^2 \alpha \cos^2 \beta + \cos^2 \alpha \sin^2 \beta + \sin^2 \alpha] \\ &= \frac{2mc^2}{a} [(\cos^2 \beta + \sin^2 \beta) \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha] \\ &= \frac{2mc^2}{a}. \end{aligned}$$

Gesamtwirkung aller n Molecüle $= \frac{2nmc^2}{a}$.

Diese vertheilt sich auf die Fläche $6a^2$.

Es trifft daher auf die Flächeneinheit

$$p = \frac{2nmc^2}{6a^2} = \frac{nmc^2}{3a} \text{ wie früher.}$$

Auch hier ist leicht einzusehen, daß die ungleiche Wirkung auf die einzelnen Wände, welche aus der Betrachtung von nur einem Molecül hervorgeht, im Gesamteresultat verschwinden muß, da die Winkel α und β für jedes der Flächenpaare gleich oft wiederkehren müssen. Es ließen sich auch hier die Wirkungen je dreier symmetrisch bewegter Molecüle mitsammen berechnen und zeigen, daß sie zusammen dieselbe Wirkung äußern wie drei Molecüle, deren jedem die Durchschnittswirkung $\frac{2mc^2}{a}$ zukommt.

Es gilt also für den Würfel, wie für die Kugel, allgemein:

$$p = \frac{nmc^2}{3a}.$$

C. Das Gefäß hat eine beliebige Form.

Zunächst läßt sich leicht zeigen, daß die Gleichung für alle Formen Geltung haben müsse, die sich durch Zusammensetzung von gleich großen Würfeln erhalten lassen.

Das Prisma z. B., das sich in Fig. 5, Taf. II im Durchschnitt gezeichnet findet, und welches aus drei Würfeln entstanden ist, kann auf die Flächeneinheit seiner Oberfläche keinen andern Druck empfangen, als die drei getrennten Würfel. Nimmt man nämlich die Zwischenwände fort,

so treten einfach an Stelle der Bewegungen *abc*, *febd*, *geh* die Bewegungen *ad*, *ge*, *fh*.

Beide Gruppen von Bewegungen führen in Bezug auf die Aufsenwände in gleichen Zwischenräumen zu den gleichen Stößen in gleicher Richtung wie früher. Es muß nämlich für jede Bewegungsrichtung z. B. *ab*, jenseits der Zwischenwand eine symmetrisch liegende *eb* ebenso oft vorhanden seyn. Einzelabweichungen werden auch hier im Gesamtergebnisse ausgeglichen. Setzt man nun viele, kleine Würfel zusammen, so kann man sich jeder beliebigen unregelmäßigen Form, z. B. Fig. 6, Taf. II beliebig weit nähern. Für eine Form, welche der Form eines solchen Würfelaggregats gleich kommt, muß daher die abgeleitete Gleichung ebenfalls Geltung haben. Die unregelmäßige Form nun, welche durch Umschreibung eines solchen Würfelaggregats entsteht, unterscheidet sich dann von dieser nur durch die minder grobe Rauigkeit der Oberfläche.

Räumt man überhaupt die Richtigkeit der Annahme ein, daß die Anwesenheit unzähliger kleiner Unebenheiten auf der Oberfläche der regelmäßigen Körper, z. B. der Kugel am Endresultat der Stöße im Ganzen nichts ändert, weil die dadurch nach entgegengesetzter Seite entstehenden Abweichungen von der Reflexionsrichtung sich compensiren, so ist es auch evident, daß ein Würfelaggregat, wie das oben betrachtete, durch eine dasselbe umschreibende Hohlform ersetzt werden könne, ohne daß dadurch die Gültigkeit der Formel beeinträchtigt wird. Somit gilt für jede Form des Gefäßes:

$$p = \frac{nm c^2}{3v}.$$

VI. *Eine merkwürdige Beobachtung am Goldblattelektroskop; vom Prof. Dr. A. Forster.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. Bericht, d. Berner Gesellsch. 1871.)

Divergiren die Blättchen eines Goldblattelektroskopes mit — *E*, so muß ihre Divergenz durch Annäherung eines — elektrischen Körpers zunehmen und bei Näherung eines + elektrischen Körpers abnehmen.

Um meinen Zuhörern diesen Satz nachzuweisen, hatte ich folgende Aufstellung vorgenommen. Dicht vor dem Linsenkopf (bestimmt die Strahlen der Knallgaslampe parallel zu machen) einer Duboscq'schen Knallgaslaterne befand sich auf einem Stativ ein Goldblattelektroskop mit zwei Blättchen. Durch eine Linse erzeugte ich auf einem weißen Schirm im verdunkelten Zimmer ein stark vergrößertes Bild der Blättchen; nun rieb ich eine Kautschukstange an einem Katzenfell und *berührte mit der stark elektrischen Stange die Kugel des Elektroskopes*. Nach dem Entfernen der Stange zeigten die Blättchen eine bleibende Divergenz von circa 70°. Ich rieb nun die Kautschukstange von Neuem und näherte dieselbe von oben vorsichtig dem Knopf des Elektroskopes in der Weise, daß die Axe der Stange einen rechten Winkel mit der Verticalaxe des Elektroskopes bildete, und erwartete natürlich, die Divergenz zunehmen zu sehen. Zu meinem großen Erstaunen *nahm die Divergenz ab, wurde bei weiterem Annähern = 0, um bei noch geringerer Entfernung von Stange und Elektroskop wieder zu wachsen*. Entfernte man die Stange in gleicher Weise langsam, so *nahm die Divergenz ab, wurde = 0, um bei größerer Entfernung der Stange wieder ihren vorigen Werth zu erhalten*.

Sehr vielfache Wiederholungen des Versuches gaben stets das gleiche Resultat, nur ist nöthig, daß die Elektrizitätsquelle kräftig elektrisch sey; daher gelingt der Ver-

such mit Anwendung eines geriebenen Glasstabes nicht leicht.

Die Sache war mir vollkommen räthselhaft, ebenso allen Personen, denen ich den Versuch zeigte.

Nach verschiedenen misslungenen Versuchen, die Sache aufzuklären, stiegen mir endlich Zweifel auf: ob die Blättchen des Elektroskops durch *Berühren* mit einer geriebenen Kautschukstange wirklich mit — E divergiren? So paradox dieser Zweifel mir selbst zuerst schien, so mußte ich mich doch überzeugen, daß derselbe vollkommen gerechtfertigt war, denn Versuche mit einem Fechner'schen Säulenelektroskop belehrten mich, daß die geriebene Kautschukstange allerdings — elektrisch, daß aber die Blättchen des Goldblattelektroskops + elektrisch seyen.

Um sich hievon zu überzeugen, braucht man nur folgenden Versuch anzustellen.

Man reibt eine Kautschukstange mit einem Katzenfell und nähert dieselbe dem Knopfe des Fechner'schen Elektroskops. Das Blättchen bewegt sich nach dem + Pol der Zamboni'schen Säule: die Stange ist also — elektrisch.

Man reibt die Stange von Neuem, *berührt* mit derselben den Kopf des Goldblattelektroskops (mit zwei Blättchen) und entfernt die Stange sofort. Nähert man nun den Knopf des mit Elektrizität geladenen Elektroskops dem Knopfe des Fechner'schen Elektroskops, so bewegt sich dessen Blättchen nach dem — Pol der Zamboni'schen Säule; *die Blättchen divergiren also mit + E* , es wird also das Goldblattelektroskop durch *Berühren* mit der — elektrischen Stange *positiv* elektrisch!

Sobald nachgewiesen ist, daß die Blättchen mit + E divergiren, hat die Erklärung der zuerst beschriebenen Erscheinung keine Schwierigkeit mehr, und es bleibt jetzt nur noch übrig zu erklären, wie es möglich sey, daß sich die Blättchen des Elektroskops durch *Berühren* mit einer stark — elektrischen Stange positiv laden können.

Dies geschieht in folgender Weise.

Nähert man dem Knopf des Elektroskops die stark —

elektrische Stange, so findet Vertheilung der Elektricitäten im Elektroskop statt. Die $+ E$ strömt in den Knopf, in welchem sie durch die $- E$ der Stange gebunden wird; die $- E$ strömt in die Blättchen, welche unter ihrem Einfluß divergiren. Unter dem Einfluß der Stange strömt $- E$ aus dem Elektroskop ab, während im Knopfe sich immer mehr $+ E$ ansammelt und gebunden wird. Im Momente des Berührens von Stange und Knopf giebt die Stange diejenige Menge $- E$, welche an der Berührungsstelle vorhanden ist, an den Knopf ab und neutralisirt in demselben eine entsprechende Menge $+ E$. Da aber die mit dem Knopfe nicht in unmittelbarer Berührung befindlichen Theile der Stange ihre $- E$ nicht abgeben, so wird dieser Ueberschufs von $- E$ die angedeutete Vertheilung und Bindung fortsetzen, in Folge dessen sich im Knopfe viel mehr gebundene $+ E$ als in den Blättchen freie $- E$ ansammelt (weil ein fortwährender Verlust an $- E$ des Elektroskops stattfindet).

Entfernt man nun langsam die Stange, so wird ihr bindender Einfluß auf den Knopf abnehmen und eine gewisse Menge $+ E$ in die Blättchen strömen, dort eine entsprechende Menge $- E$ neutralisirend. Ist die Stange so weit entfernt, daß gerade so viel $+ E$ aus dem Knopf in die Blättchen abströmen kann, als diese $- E$ enthalten, so müssen die Blättchen unelektrisch werden und ihre Divergenz $= 0$ seyn. Bei weiterer Entfernung wird noch mehr der bisher gebundenen $+ E$ aus dem Knopf in die Blättchen strömen, dort überwiegen und nun eine Divergenz der Blättchen mit $+ E$ veranlassen; hat man den bindenden Stab ganz entfernt, so wird die ganze bisher gebundene $+ E$ frei und bewirkt eine starke positive Divergenz der Blättchen.

Nähert man nun wieder die Stange, so erfolgen die beschriebenen Vorgänge einfach in umgekehrter Reihenfolge.

Wie man sieht, beruht die ganze Erklärung darauf, daß die durch Vertheilung entstandene und durch die $-$ elektrische Stange gebundene $+ E$ überwiegt über die dem

Elektroskop durch Berührung mitgetheilte — E (was leicht erklärlich ist, da ein elektrischer Nichtleiter seine Elektricität nur an der unmittelbar berührten Stelle abgiebt).

Soll aber die Influenz überwiegen, so ist es nöthig, daß die einwirkende Elektricitätsquelle stark elektrisch sey.

Daß unter den besprochenen Umständen auch ohne sichtbare Ableitung aus dem Elektroskop — E abströmt, kann man leicht nachweisen, indem man dem Knopfe eine geriebene Kautschukstange *nur nähert, ohne denselben zu berühren*. Unter diesen Verhältnissen kann von der Stange keine E auf ihn direct überströmen, und doch zeigen die Blättchen, wenn die Stange nach sekundenlangem Wirken entfernt wird, kräftige + Divergenz. Die Erklärung ist hier sehr einfach. Der Umstand aber, daß man in einem Elektroskop durch *Berühren* mit einer stark negativ elektrischen Stange positive Divergenz erhalten kann, scheint mir von einiger Wichtigkeit.

Gesetzt, ich wünsche, ohne im Besitz eines Säulenelektroskops zu seyn, zu erfahren, ob ein Körper beim Reiben mit einem bestimmten Reibzeug + oder — elektrisch werde, so ertheile ich den Blättchen des genannten Elektroskops eine beliebige Elektricität, in Folge deren die Blättchen divergiren. Nun nähere ich den zu prüfenden Körper. Nimmt die Divergenz zu, so ist er gleichnamig elektrisch mit der den Blättchen ertheilten Elektricität; nimmt die Divergenz ab, so ist er ungleichnamig elektrisch.

Um aber den Blättchen eine bestimmte Elektricität zu ertheilen, berührt man eben den Knopf mit einem durch Reiben elektrisch gemachten Körper und nimmt an, daß die Blättchen gleichnamige Elektricität mit diesem Körper annehmen.

Bei der allgemeinen Verbreitung und Vorzüglichkeit der Kautschukstäbe ist es aber sehr wahrscheinlich, daß man in diesem Falle einen Kautschukstab anwenden wird. Man glaubt natürlich, den Blättchen durch Berührung mit diesem geriebenen Stab — E zu ertheilen und beurtheilt unter dieser Voraussetzung alle eintretenden Erscheinungen.

Da aber die Blättchen, wie ich nachgewiesen, nicht — sondern + elektrisch geworden sind, so müssen alle Schlüsse, aus dem beschriebenen Versuche gezogen, *absolut falsch seyn, d. h. man wird einen durch Reiben + elektrisch gewordenen Körper für — elektrisch halten und umgekehrt.*

Um sich vor Irrthum zu schützen, darf man mit dem geriebenen Kautschukstabe nicht in die Nähe des prüfenden Elektroskops kommen, sondern man entnehme dem geriebenen Stabe mit einem Probescheibchen — *E* und übertrage diese durch das Probescheibchen auf die Kugel des Elektroskops. Auf einem solchen Scheibchen kann man nämlich niemals so viel Elektrizität ansammeln, daß ihre Influenz störend zu wirken vermag, aber vollkommen genug, um den Blättchen eine genügende Divergenz zu ertheilen.

VII. Ueber die Einwirkung der Elektrizität auf Flüssigkeiten; von W. Beetz.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. Bericht. d. Münchener Akad. 1871.)

In den Verhandlungen des Vereins für Naturkunde in Prefsburg ¹⁾ hat Herr Fuchs die folgende höchst auffallende elektrische Erscheinung zu erklären versucht: Wenn ein Wasserstrahl aus der engen Oeffnung einer Glasröhre aufwärts springt, so zerfällt er in Tropfen, welche in Parabeln von kleinem Parameter auseinander gehen. Nähert man dem Strahl einen (positiv oder negativ) elektrisirten Körper, so zieht sich der Strahl in eine Säule zusammen und steigt ungetheilt auf. Wird der elektrisirte Körper in größere Nähe des Strahles gebracht, so zerfällt dieser wieder in viele kleinere Tröpfchen, welche in weiten Parabelbögen

1) Verhandlungen 1856 p. 37. Die aus den Sitzungsberichten desselben Vereins I p. 79 in Pogg. Ann. CII übergangene Erklärung ist später vom Herrn Verfasser selbst als ungenügend zurückgenommen.

auseinander fallen. Um eine Erklärung von der ersten der genannten Einwirkungen des elektrisirten Körpers auf den Strahl zu geben, hat Herr Fuchs zuerst die Frage behandelt: warum löst sich der Strahl in seinem natürlichen Zustande in Tropfen auf? und ist durch ein sehr schlagendes Experiment zu der ganz richtigen Antwort gelangt: das Tropfenwerfen ist eine Folge der Adhäsion des Wassers an die Mündung des Mundstückes; das Tropfenwerfen hörte nämlich auf, sobald das Mundstück sorgfältig mit Fett überzogen, die Adhäsion also vernichtet war. Weiter schloß nun Herr Fuchs: durch die Annäherung des elektrischen Körpers wird das Mundstück und der Strahl durch Vertheilung elektrisch, und diese elektrische Spannung vernichtet die Adhäsion des Wasser zum Mundstück, so daß der Strahl, wie aus dem angefetteten Mundstück, cohärent austritt. Die Frage, wie eine solche Vernichtung durch so schwache Spannungen möglich sey, liefs er ungelöst.

Später hat Herr Reitlinger diese Frage wieder aufgenommen¹⁾. Er fand, daß ein Terpentinölstrahl, der ganz wie ein Wasserstrahl in Tropfen aufgelöst wird, durch die Annäherung eines elektrisirten Körpers gar keine Veränderung erfährt und daß ein Quecksilberstrahl aus der Oeffnung einer Glasröhre cohärent springt, wie der Wasserstrahl aus dem gefetteten Mundstück, daß er sich dagegen, aus einem Kupfermundstück springend, in Tropfen auflöst, sobald das Kupfer eine hinreichende Amalgamation angenommen hat, daß aber die Annäherung eines elektrischen Körpers den so getheilten Strahl ebensowenig zusammenführt, wie den Terpentinölstrahl. Aus diesen Erfahrungen zieht dann Hr. Reitlinger den Schluss, daß die Vernichtung der Adhäsion an die Ausflusmündung des Springbrunnens bei Wasser von einer elektrolitisch entstehenden, sehr dünnen Gasschicht herrühre. Dieser Schluss ist jedenfalls ein sehr gewagter; besonders wenn das Mundstück aus Glas besteht,

1) Sitzungsberichte der math.-naturwiss. Classe der Wiener Akademie 1860, S. 590.

dürfte es doch schwer werden, sich das elektrolytische Entstehen einer solchen Gasschicht vorzustellen.

Aber ein Aufheben der Adhäsion der Flüssigkeiten zum Mundstücke durch die Einwirkung des angenäherten elektrischen Körpers kommt in der That gar nicht in Frage. Wenn eine solche überhaupt stattfände, so müßte man die Höhe einer zwischen Glas- oder Metallwänden capillar gehobenen Flüssigkeitssäule durch elektrische Einflüsse verändern können. Das ist mir aber durchaus nicht geglückt.

Der Versuch, durch welchen Hr. Fuchs veranlaßt wurde, den elektrischen Einfluß gerade an das Mundstück selbst zu versetzen, war der, daß er die Zusammenziehung des Strahles nicht erhielt, wenn das Mundstück durch ein darüber geschobenes Rohr geschützt war, wohl aber, wenn das Mundstück frei blieb, aber der Strahl geschützt wurde. Diese Beobachtung ist indess nicht ganz streng richtig: nicht das Mundstück ist es, welches in den elektrischen Schatten gestellt werden muß, um das Zusammenziehen des Strahles zu verhindern, sondern der untere cohärente Theil des Strahles selbst. Um Weitläufigkeiten zu vermeiden, soll die Erscheinung an einem bestimmten Versuche verfolgt werden.

Eine mit Wasser gefüllte, nahe am Boden tubulirte Flasche ist isolirt aufgestellt. Aus dem Tubulus führt ein Glasrohr abwärts, ist dann nach oben gebogen und in eine feine Spitze ausgezogen. Der etwa 20 Cm. hohe Wasserstrahl geht in etwas schiefer Richtung aufwärts, um nicht gerade auf dem Wege, auf dem er kommt, zurückzufallen. Unmittelbar über der Ausflußöffnung ist er bis zu einer Höhe von etwa 3 Cm. völlig cohärent, dann löst er sich in Tropfen auf, welche die parabolischen Zweige bilden. Der Kürze wegen soll der cohärente Theil des Strahles: der Stamm, der aufgelöste: die Zweige heißen. Daß der Stamm wirklich ganz cohärent ist, erkennt man daran, daß ein geladenes Elektroskop sofort entladen wird, wenn man einen mit seinem Knopf verbundenen Draht in denselben einführt. Die Zweige entladen unter gleichen Umständen das

auseinander fallen. Um eine Erklärung von der ersten der genannten Einwirkungen des elektrisirten Körpers auf den Strahl zu geben, hat Herr Fuchs zuerst die Frage behandelt: warum löst sich der Strahl in seinem natürlichen Zustande in Tropfen auf? und ist durch ein sehr schlagendes Experiment zu der ganz richtigen Antwort gelangt: das Tropfenwerfen ist eine Folge der Adhäsion des Wassers an die Mündung des Mundstückes; das Tropfenwerfen hörte nämlich auf, sobald das Mundstück sorgfältig mit Fett überzogen, die Adhäsion also vernichtet war. Weiter schloß nun Herr Fuchs: durch die Annäherung des elektrischen Körpers wird das Mundstück und der Strahl durch Vertheilung elektrisch, und diese elektrische Spannung vernichtet die Adhäsion des Wasser zum Mundstück, so daß der Strahl, wie aus dem angefetteten Mundstück, cohärent austritt. Die Frage, wie eine solche Vernichtung durch so schwache Spannungen möglich sey, liefs er ungelöst.

Später hat Herr Reitlinger diese Frage wieder aufgenommen ¹⁾. Er fand, daß ein Terpentinölstrahl, der ganz wie ein Wasserstrahl in Tropfen aufgelöst wird, durch die Annäherung eines elektrisirten Körpers gar keine Veränderung erfährt und daß ein Quecksilberstrahl aus der Oeffnung einer Glasröhre cohärent springt, wie der Wasserstrahl aus dem gefetteten Mundstück, daß er sich dagegen, aus einem Kupfermundstück springend, in Tropfen auflöst, sobald das Kupfer eine hinreichende Amalgamation angenommen hat, daß aber die Annäherung eines elektrischen Körpers den so getheilten Strahl ebensowenig zusammenführt, wie den Terpentinölstrahl. Aus diesen Erfahrungen zieht dann Hr. Reitlinger den Schluß, daß die Vernichtung der Adhäsion an die Ausflusmündung des Springbrunnens bei Wasser von einer elektrolytisch entstehenden, sehr dünnen Gasschicht herrühre. Dieser Schluß ist jedenfalls ein sehr gewagter; besonders wenn das Mundstück aus Glas besteht,

1) Sitzungsberichte der math.-naturwiss. Classe der Wiener Akademie 1860, S. 590.

dürft
steh
A
Mun
trisc
We
Höh
hob
änd
wur
selb
des
darü
das
Dies
das
gest
zu
Stra
die
wer
Flas
Gla
fein
stra
gera
Un
Höl
Tro
Kün
Sta
wir
lad
mit
füh

dürfte es doch schwer werden, sich das elektrolytische Entstehen einer solchen Gasschicht vorzustellen.

Aber ein Aufheben der Adhäsion der Flüssigkeiten zum Mundstück durch die Einwirkung des angenäherten elektrischen Körpers kommt in der That gar nicht in Frage. Wenn eine solche überhaupt stattfände, so müßte man die Höhe einer zwischen Glas- oder Metallwänden capillar gehobenen Flüssigkeitssäule durch elektrische Einflüsse verändern können. Das ist mir aber durchaus nicht geglückt.

Der Versuch, durch welchen Hr. Fuchs veranlaßt wurde, den elektrischen Einfluß gerade an das Mundstück selbst zu versetzen, war der, daß er die Zusammenziehung des Strahles nicht erhielt, wenn das Mundstück durch ein darüber geschobenes Rohr geschützt war, wohl aber, wenn das Mundstück frei blieb, aber der Strahl geschützt wurde. Diese Beobachtung ist indess nicht ganz streng richtig: nicht das Mundstück ist es, welches in den elektrischen Schatten gestellt werden muß, um das Zusammenziehen des Strahles zu verhindern, sondern der untere cohärente Theil des Strahles selbst. Um Weitläufigkeiten zu vermeiden, soll die Erscheinung an einem bestimmten Versuche verfolgt werden.

Eine mit Wasser gefüllte, nahe am Boden tubulirte Flasche ist isolirt aufgestellt. Aus dem Tubulus führt ein Glasrohr abwärts, ist dann nach oben gebogen und in eine feine Spitze ausgezogen. Der etwa 20 Cm. hohe Wasserstrahl geht in etwas schiefer Richtung aufwärts, um nicht gerade auf dem Wege, auf dem er kommt, zurückzufallen. Unmittelbar über der Ausflußöffnung ist er bis zu einer Höhe von etwa 3 Cm. völlig cohärent, dann löst er sich in Tropfen auf, welche die parabolischen Zweige bilden. Der Kürze wegen soll der cohärente Theil des Strahles: der Stamm, der aufgelöste: die Zweige heißen. Daß der Stamm wirklich ganz cohärent ist, erkennt man daran, daß ein geladenes Elektroskop sofort entladen wird, wenn man einen mit seinem Knopf verbundenen Draht in denselben einführt. Die Zweige entladen unter gleichen Umständen das

Elektroskop nicht. Nun wird eine Blechplatte, in deren Mitte sich ein kreisrundes Loch (von 5 Mm. Durchmesser) befindet, horizontal so aufgestellt, daß der Strahl durch das Loch hindurchspringt. Die herabfallenden Tropfen fallen neben dem Rande dieses Schirmes vorüber. Ein Draht, welcher mit einem isolirten Conductor leitend verbunden ist, umgiebt den Strahl. Er soll ein für alle Mal negativ elektrisirt seyn. Wird der Schirm so niedrig aufgestellt, daß das obere Ende des Stammes über demselben herauschaut, während der Ring den Strahl in beliebiger Höhe (etwa 12 Cm. über der Mündung) umgiebt, so wird der Strahl sofort zusammengezogen. Rückt man den Schirm in die Höhe, so daß der Stamm gänzlich in den elektrischen Schatten kommt, so ist von dieser Zusammenziehung nichts zu bemerken; dieselbe tritt aber sogleich wieder ein, sobald man nun den Ring unter den Schirm bringt. Während diese verschiedenen Anordnungen des Versuches ausgeführt werden, taucht ein mit einem Elektroskop verbundener Draht in das in der Flasche enthaltene Wasser, ein zu einem zweiten Elektroskop führender Draht wird in den oberen Theil des Wasserstrahles eingeführt. Ist der Stamm des Strahles durch den Schirm gegen die Elektricität des Ringes geschützt, so bleibt das Wasser im Gefäße unelektrisch; der Strahl zeigt keine oder geringe Mengen von negativer Elektricität; in der Nähe des Ringes ist er stärker negativ elektrisch; es werden nämlich Tröpfchen vom Ringe angezogen und wieder abgestoßen, und übertragen so die negative Elektricität direct auf das Elektroskop.

Ist aber der Stamm nicht in den elektrischen Schatten gestellt, so wird das Wasser in der Flasche durch Influenz stark negativ und bleibt so, wenn auch der Ring durch Berührung entladen wird. Die positive Influenz-Elektricität erster Art ist also nicht in leitender Verbindung mit dem Wassergefäße geblieben, sie ist vielmehr von den Tropfen mit fortgeführt, und darum wird das zweite Elektroskop jetzt

posit
Flüss
trosk
zeigt
Dies
ten
pent
bei
nicht
A
gang
leich
aus
Mün
folg
des
folg
trisc
posi
nom
Tro
ihre
wer
nem
End

sole
des
seit
der
ein

son
gau
ele

positiv geladen. Wird das Wasser durch eine isolirende Flüssigkeit, z. B. Petroleum, ersetzt, so zeigt keins der Elektroskope das Vorhandenseyn von Elektricität an, der Strahl zeigt aber auch in seiner Gestalt keinerlei Veränderung. Diese Unempfindlichkeit des Strahles isolirender Flüssigkeiten gegen Elektricität hat schon Hr. Reitlinger am Terpentinöl beobachtet, und daraus den Schluss gezogen, dafs bei diesem die Aufhebung der Adhäsion an die Mündung nicht, wie beim Wasser, stattfinde.

Aus den angegebenen Versuchen läfst sich nun der Vorgang, welcher die Zusammenziehung des Strahles veranlafst, leicht übersehen. Die äufsere Hülle des Stammes besteht aus Wassertheilchen, welche durch ihre Reibung an der Mündung einen excentrischen Stofs erhalten haben: sie rotiren folglich nach aufsen und lösen sich allmählich vom Kerne des Stammes ab, um ihre parabolischen Bahnen zu verfolgen. Wird nun der Stamm durch Influenz positiv elektrisch gemacht, so wird die auf der Oberfläche befindliche positive Elektricität von den abgelösten Tropfen mitgenommen. Jetzt finden sich die inneren unelektrischen Tropfen von elektrischen umgeben, welche dadurch aus ihrer Bahn abgelenkt und der Axe des Strahles genähert werden. Völlig cohärent wird dadurch der Strahl in seinem weiteren Verlaufe durchaus nicht, höchstens rückt das Ende des Stammes ein wenig in die Höhe.

Die Tropfen beschreiben noch immer Parabeln, aber solche mit sehr kleinem Parameter. Wird die Einwirkung des elektrischen Körpers zu stark, so überwiegt die gegenseitige Abstofsung der Tropfen über die Anziehung nach der Axe hin, und es tritt die hübsche Erscheinung des Auseinanderstiebens des Strahles ein.

Der ganze Vorgang findet also nicht an der Mündung, sondern am Ende des Stammes statt, und damit dürfte die ganze Ansicht von einer Veränderung der Adhäsion durch elektrische Einflüsse widerlegt seyn.

Dafs, wenn der Strahl statt aus einem isolirten Gefäfse,

direct aus der Wasserleitung kommt, die Influenz-Elektricität zweiter Art abgeleitet ist, daß die Erscheinungen statt durch Influenz-Elektricität auch durch mitgetheilte hervorgerufen werden können, versteht sich von selbst.

Herr Reitlinger hat aber noch einen Versuch beigebracht, nach welchem ein Quecksilberstrahl aus kupfernem Mundstück springend, die Verzweigung zeigt, nicht aber die Wiedervereinigung durch Einwirkung der Elektricität. Leider hat er nichts über die Dimensionen gesagt, in denen er gearbeitet hat. Mir ist es durchaus nicht gelungen, einen deutlich verzweigten Quecksilberstrahl zu erhalten, wiewohl ich mit sehr gut amalgirtem Kupfermundstücke, mit gröberen und feineren, cylindrischen, nach oben oder nach unten konischen Oeffnungen, mit großem und kleinem Drucke experimentirte. Wohl aber habe ich mich wieder durch das Elektroskop überzeugt, daß ein aus einem weiten Mundstücke aufsteigender Strahl bis oben hinauf leitend also cohärent bleibt, während er bei engen Mündungen aus einem Stamm und aus vereinzelt Tropfen besteht, selbst wenn das Mundstück von Glas ist. Die Reibung bringt also auch hier die Theilung hervor. Ein aus einem engen Kupfermundstücke springender Strahl war bis fast an die Mündung in überraschender Weise vollkommen isolirend. Wird einem solchen Quecksilberstrahl ein elektrischer Körper genähert, so lassen sich ganz dieselben Vorgänge beobachten, welche beim Wasserstrahl stattfinden; das Beschatten des Stammendes wirkt ganz ebenso, wie dort. Da ich aber niemals ein merkliches Auseinanderweichen beobachtet habe, so konnte ich auch kein Zusammenziehen sehen: eine Veränderung des Strahles trat vielmehr erst mit dem zweiten Stadium, dem Zerstäuben des Strahles ein. Wenn Herr Reitlinger ebenfalls nur dieses Stadium beobachtete, wiewohl es ihm gelungen war, den Strahl zu verzweigen, so ist die Veranlassung dazu wohl die vorzügliche Leitungsfähigkeit des Quecksilbers, in deren Folge das von der äußeren elektrischen Hülle befreite Stammende schon wie-

der mit gleicher Elektricität influenzirt ist, ehe die Tropfen Zeit gehabt haben, sich der unelektrischen Axe zu nähern. Jedenfalls ist auch beim Quecksilber die ganze Einwirkung der Elektricität nicht am Mundstück, sondern am Stammende des Strahles zu suchen.

VIII. *Ueber die spectroscopische Beobachtung der Rotation der Sonne und ein neues Reversions-spectroskop; von F. Zöllner.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. Ber. d. K. Sächs. Gesellsch. d. Wiss.)

Einer freundlichen Einladung Folge leistend, begab ich mich in den Pfingstferien nach Bothkamp bei Kiel, um auf der dortigen, für astrophysikalische Untersuchungen glänzend ausgestatteten, Privatsternwarte des Kammerherrn von Bülow diejenigen Untersuchungen in Angriff zu nehmen, über welche ich die Ehre hatte, vor zwei Jahren der Königlichen Gesellschaft bei Vorzeigung meines Reversions-spectroskopes einige vorläufige Mittheilungen zu machen.

Der in Bothkamp aufgestellte und mit einem vorzüglichen Uhrwerk versehene große Refractor von Schröder in Hamburg ist nicht nur nach dem Pulkowaer Refractor das größte Instrument auf dem Continent, sondern nimmt wahrscheinlich unter allen Refractoren von gleicher Größe durch seine hohe optische und mechanische Vollendung den ersten Rang ein. Hr. Dr. H. C. Vogel, der Director der Sternwarte, und Hr. Dr. Lohse als Assistent haben sich, entsprechend den wissenschaftlichen Intentionen des Gründers der Sternwarte, die Aufgabe gestellt, die ihnen in so überaus liberaler Weise zur Verfügung gestellten Mittel vorzugsweise im Dienste der *Astrophysik* zu verwerthen. Als die ersten Früchte dieser verdienstvollen Bestrebungen mögen die folgenden Mittheilungen über die spektrosko-

pische Beobachtung der Sonnenrotation und die obigen Untersuchungen über das Nordlicht von Dr. Vogel betrachtet werden.¹⁾

Das Reversionsspectroskop hatte für den beabsichtigten Zweck einige Abänderungen erhalten, die sich zum Theil auf die Construction selber, zum Theil auf die Art und Weise der Befestigung am Bothkamper Refractor bezogen. Dieselben waren bei meiner Abreise noch nicht ganz vollendet, so daß ich mir das Instrument nachschicken lassen mußte. Dasselbe traf am 31. Mai in Bothkamp ein und wurde sofort mit dem Refractor in Verbindung gesetzt. Leider war aber das Wetter während der drei Tage, welche mir für den Aufenthalt in Bothkamp noch übrig blieben, ungünstig. Nur am Abend des 2. Juni gestattete die stellenweis gelichtete Wolkendecke bei tiefem Stande der Sonne wenigstens einen Versuch zu machen. Während ich durch das Spectroskop blickte, stellte Vogel mit Hülfe des Suchers den Refractor auf verschiedene Theile der Sonnenscheibe. Ich beobachtete eine kleine Verschiebung der in beiden Spectren zur Coincidenz gebrachten Natronlinien, und ohne von der Lage des Spaltes auf der Sonnenscheibe etwas zu wissen, beantwortete ich stets die Fragen von Vogel über den Sinn der Verschiebung in einer der Stelle entsprechenden Weise. Allein schon nach Verlauf weniger Minuten bedeckte sich der Himmel wieder, so daß ich selbst im Wesentlichen unverrichteter Sache heimkehrte und den HH. Vogel und Lohse mein Instrument zu weiteren Untersuchungen unter günstigeren Verhältnissen überliefs.

Zu meiner Freude erhielt ich bereits nach wenigen Tagen einen Brief vom 9. Juni 1871, in welchem mir Hr. Dr. Vogel Folgendes mittheilt:

»Heute in aller Kürze die Nachricht, daß wir, Dr. Lohse und ich, gestern die Verschiebung der Linien durch die Rotation der Sonne mit Hülfe des Reversionsspectroskopes

bestimmt und wiederholt

gesehen haben. Messungen mit einiger Sicherheit auszu-

1) Letztere sollen nächstens in den Annalen mitgetheilt werden. P

führen, ist bei der jetzigen Einrichtung des Apparates nicht gut möglich. Vor allem müssen die beiden Spectra vollkommen gleich hell, der Spalt aber so *fein* wie nur *irgend* möglich gearbeitet seyn, da die Querlinien bei so feinen Messungen stören.«

Ein zweiter Brief, vom 14. Juni datirt, enthält folgende Mittheilungen:

»Mit meinem Spectralapparat habe ich — nachdem, wie ich Ihnen schon mittheilte, mit dem Ihrigen die Verschiebung der Linien durch die Rotation der Sonne gesehen worden war — mit Anwendung der fünf stark zerstreuten, im Kreise stehenden Prismen, die ich vorher auf die Gegend bei *F* gestellt hatte, eine Verschiebung nicht nur gesehen, sondern auch ihrer Gröfse nach geschätzt. Die feine Linie hinter *F* (Abstand 1,5 Zehnmilliontel-Millimeter. Siehe Ångström's Atlas) sehe ich etwa *halb* so weit von der *F*-Linie abstehe, als die Entfernung der *Na*-Linien in Ihrem Spectroskop beträgt. $\frac{1}{20}$ dieses Abstandes läfst sich zur Noth noch schätzen. Alle Schätzungen von Dr. Lohse und mir geben nicht ganz 0,1 eines Zehnmilliontel-Millimeters, was eine Geschwindigkeitsdifferenz der Aequatorialränder von etwa 0,7 Meilen entsprechen würde, während in Wirklichkeit die Drehung $2 \times 0,27$, also 0,54 Meilen beträgt. Stellte man das Fernrohr auf den Nord- und Süd-Punkt der Sonne, so war *keine* Verschiebung vorhanden, *als auch keine Durchbiegung der einzelnen Theile des Apparates während der Beobachtung*. Der Nachweis der Rotation der Sonne mit Hülfe des Spectroskopes ist demnach als *sicher* zu betrachten. Ich werde übrigens die Versuche mit noch stärkerer Vergröfserung wiederholen.

Ferner ein zweites, nicht weniger interessantes Factum. Bei einigen Nebelflecken (planetarischen), welche nach andern Beobachtern nur drei Linien zeigen, konnte ich noch einige Linien mehr finden; davon ist eine, die ich und Lohse ganz bestimmt gesehen haben, höchst wahrscheinlich mit der *hellsten* Nordlichtlinie zusammenfallend.

Das würde zu merkwürdigen Schlüssen Veranlassung geben.«

Eine genauere Beschreibung dieser und der später angestellten Beobachtungen giebt Hr. Dr. Vogel in Folgendem:

Beobachtungen.

»1871 Juni 9. Mit Hülfe Ihres Reversionsspectroskops wurde die Verschiebung der Linien durch die Rotation der Sonne von Dr. Lohse und mir entschieden gesehen. Es wurden die Versuche auf folgende Weise angestellt:

Während das Spectroskop mit Hülfe des Uhrwerks auf den einen (vorausgehenden) Sonnenrand gerichtet war, wurde die Coincidenz der *D*-Linien in den beiden übereinanderliegenden Spectren mit möglichster Schärfe bewerkstelligt, darauf wurde das Uhrwerk angehalten und der Moment des Austritts des zweiten (nachfolgenden) Sonnenrandes beobachtet. Deutlich war die Nichtcoincidenz der *D*-Linien am zweiten Sonnenrande, bei *allen* den sehr zahlreich wiederholten Beobachtungen, wahrzunehmen.

Juni 10 haben wir die Versuche mit unserem sehr stark zerstreuenden Spectroskop von Schröder, welches aus fünf Prismen à vision directe und aus ebensovielen im Kreise stehenden Prismen von sehr schwerem Glase besteht, wiederholt. Das Beobachtungsfernrohr vergrößerte neunmal. Im Brennpunkt desselben befand sich eine feine Stahlspitze, welche auf die *F*-Linie oder auf eine sehr feine Linie, etwas brechbarer als *F* (Wellenlänge nach Ångstr. 4859,17), eingestellt wurde, während das Spectroskop auf den einen Sonnenrand gerichtet war. Spitze und Linie deckten sich nicht mehr, wenn das Licht von Theilen des anderen Sonnenrandes auf den Spalt fiel. Um Durchbiegungen zu vermeiden, wurde die Vorsicht gebraucht, das Fernrohr festzustellen und durch die tägliche Bewegung das Bild der Sonne vor dem Spalt vorübergehen zu lassen. Bei Einstellungen in der Nähe des Nord- und Südpols der Sonne, wo keine Verschiebungen zu erwarten waren, blieb die

Coincidenz von Spitze und Spectrallinie vollkommen unverändert, und war dies auch ein Beleg dafür, daß bei geringer Bewegung des Refractors etwa stattfindende Veränderungen im Spectralapparat so gering sind, daß sie auf die Beobachtung ohne Einfluß bleiben.

Juni 11. Die Beobachtungen wurden in derselben Weise angestellt wie am Tage zuvor. Die Gröfse der Verschiebung der Linien gegen die Spitze im Brennpunkt des Fernrohrs wurde durch zahlreiche Schätzungen festzustellen versucht, indem der Abstand zweier nahe stehender Linien im Spectrum als Einheit angenommen wurde. Unsere Angaben schwankten zwischen 0,010 und 0,015 Mill.-Millim., woraus für die Bewegung eines Punktes des Sonnenaequators eine Geschwindigkeit von 0,42 Meilen in der Secunde folgen würde.

Juni 15. Die Beobachtungen wurden wie früher ausgeführt, nur hatte ich anstatt der Spitze im Beobachtungsfernrohr ein sehr feines Fadenkreuz angebracht und stärkere Vergrößerungen angewandt. Eine 24fache Vergrößerung konnte noch mit Vortheil benutzt werden, es erschienen damit die Fraunhofer'schen Linien überaus scharf. In der Nähe der *F*-Linie und der Gruppe *b* habe ich Schätzungen vorgenommen, aus denen sich für die Gröfse der Verschiebung 0,008 Mill.-Millimeter ergab. Es würde daraus für die Geschwindigkeit der Bewegung eines Aequatorpunktes 0,35 Meilen resultiren. — Auffällig ist es, daß die Beobachtungen stets eine gröfsere Geschwindigkeit geben, als die aus der bekannten Umdrehungszeit der Sonne berechnete, doch würde es gewagt seyn, irgend welche Schlüsse daraus ziehen zu wollen, da einestheils die Schätzungen sehr unsicher, anderntheils die Wellenlängen der einzelnen Linien im Sonnenspectrum nicht so genau bestimmt sind, daß die Unsicherheit, gegen die zu bestimmende Gröfse der Verschiebung selbst, verschwindend wird; nur so viel geht aus allen Beobachtungen hervor, daß eine Verschiebung der Linien durch die Rotation der Sonne als mit Sicherheit nachgewiesen zu betrachten ist.

Im Anschluß an diese Resultate, welche, wie man sieht, dem Reversionsspectroskop für die Zukunft eine sehr ausgedehnte Anwendung für quantitative Bestimmungen im Gebiete der spectralanalytischen Untersuchungen versprechen, erlaube ich mir die Construction eines neuen und wesentlich vereinfachten Reversionsspectroskopes mitzutheilen. Ich habe dasselbe bereits bei der Beschreibung des früher angegebenen Reversionsspectroskopes angedeutet¹⁾, mich aber seitdem von der praktischen Brauchbarkeit derartig überzeugt, daß jenes Princip mit großer Leichtigkeit für *alle* spectroskopischen Untersuchungen angewandt werden kann, ohne daß man, wie bisher, Fadenkreuze, Spitzen oder beleuchtete Objecte zur Bestimmung der Lagenverhältnisse von Linien bedarf.

Die hiezu erforderliche Einrichtung des Beobachtungsrohres *eines jeden Spectroskopes* kann in doppelter Weise hergestellt werden, nämlich:

1. durch das Reversions-Objectiv,
2. durch das Reversions-Ocular.

1. Beschreibung des Reversions-Objectivs.

Das Objectiv des Beobachtungsrohres ist diametral zerschnitten und beide Hälften lassen sich mittelst Schrauben *nur senkrecht zur Schnittlinie* verschieben, d. h. also nähern oder entfernen. Vor der *einen* dieser beiden Objectivhälften ist ein rechtwinkliges Reflexions-Prisma derartig beweglich angebracht, daß die Hypotenusenfläche senkrecht auf der zur Schnittlinie parallelen Ebene und bei normaler Einstellung parallel der optischen Axe des Fernrohres steht. Betrachtet man durch ein mit einem derartigen Objective versehenes Fernrohr irgend einen Gegenstand, so erscheint derselbe in einer zur Schnittlinie des Objectives senkrechten Richtung verdoppelt. Es hängt einerseits von den Dimensionen des betrachteten Objectes, andererseits von dem Abstände der beiden Objectivhälften ab, ob die beiden Componenten des Doppelbildes sich gerade berühren oder über-

1) Diese Berichte, Sitzung am 6. Februar 1869, S. 73.

einandergreifen oder getrennt von einander sind. Gleichzeitig ist aber diejenige der beiden Componenten bezüglich einer zur Schnittlinie senkrechten Axe umgekehrt, deren Strahlen durch das Reflexionsprisma gegangen sind.

Ersetzt man daher das Beobachtungsrohr irgend eines beliebigen Spectralapparates durch ein derartig eingerichtetes Fernrohr und stellt letzteres so, daß die brechenden Kanten des Reflexions- und Dispersions-Prismas parallel sind, so erhält man bei entsprechend regulirtem Abstände der beiden Objectivhälften zwei dicht aneinandergränzende Spectra bei entgegengesetzter Richtung der Farbenreihe. Da bei nicht parallelen Strahlen die Divergenz oder Convergenz durch totale Reflexion verändert wird, so muß für solche Fälle zur Herstellung einer gleichen Brennweite der beiden Objectivhälften eine verschiebbare Hälfte einer Linse in dem Beobachtungsrohr angebracht werden.

Wird die Richtung der optischen Axe des Beobachtungsrohres in derselben Weise verändert, wie dies zur Beobachtung verschiedener Theile des Spectrums in der Mitte des Gesichtsfeldes gewöhnlich geschieht, so sieht man die Linien beider Spectra nach entgegengesetzten Richtungen durch das Feld wandern und kann auf diese Weise durch Ablesung des Neigungswinkels bei der Coincidenz *derselben* Linien in beiden Spectren die Lage derselben ganz wie bei Anwendung von Miren im Gesichtsfelde, *aber mit der doppelten Zerstreuungsgröße und der durch das Princip der doppelten Bilder gesteigerten Genauigkeit* ablesen. *Differentialbestimmungen kann man außerdem durch eine sehr feine Verstellung des Reflexionsprismas bewirken.*

2. Beschreibung des Reversions-Oculars.

Der Zweck des Reversions-Oculars und das Princip seiner Wirksamkeit sind dieselben wie beim Reversions-Objectiv. Während jedoch das letztere ein zerschnittenes Objectiv voraussetzt, ist dies bei Anwendung des Reversions-Oculars nicht der Fall.

Dasselbe enthält nämlich das bewegliche Reflexionsprisma

in entsprechend verkleinertem Maassstabe dicht vor der Collectivlinse des Oculars, so dafs das Gesichtsfeld zur Hälfte von diesem Prisma verdeckt erscheint und die beiden Spectra auf diese Weise in entgegengesetzter Richtung nebeneinander beweglich sind. Da hier keine parallelen Strahlen auf das Reflexionsprisma fallen, so ist durch die verschiebbare Hälfte einer Concaulinse zwischen dem nicht vom Prisma bedeckten Theile des Oculars für entsprechende Correction der Brennweiten gesorgt.

Die Schärfe der Berührung der beiden Spectra ist beim Reversions-Ocular eine bei weitem geringere als beim Reversions-Objectiv. Man kann diesen Uebelstand jedoch durch Anwendung einer Cylinderlinse vor dem Ocular zum Theil beseitigen, wodurch die Linien verlängert werden und gleichzeitig die dunkle Trennung verwaschen wird. — Eine derartige Anwendung von Cylinderlinsen unmittelbar vor dem Oculardeckel erlaube ich mir überhaupt allgemein da vorzuschlagen, wo die durch Staub oder sonstige Ungleichheiten des Spaltes entstehenden Querlinien bei feineren Messungen störend wirken. Diese Linien werden hiedurch ganz verwaschen und verschwinden sogar bei nicht allzugrofsen Dicken, während die dazu senkrechten Spectrallinien nichts von ihrer Schärfe einbüfsen.

**IX. Ueber zwei neue Methoden zur Höhenmessung
der Wolken;
von Dr. Feussner,**

Privatdocent d. Phys. u. Math. an d. Universität Marburg.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. Sitzungsber. d. Gesellsch. z. Beförd.
d. gesammten Naturwiss. daselbst.)

Unter den mancherlei zur Höhenmessung der Wolken angegebenen Methoden zeichnen sich zwei Gruppen als praktisch und allgemeiner anwendbar besonders aus. Die eine

derselben umfasst die auf die Benutzung des Wolkenschattens gegründeten, die andere diejenigen Methoden, bei welchen Azimuth und Zenithdistanz einer Wolke von zwei verschiedenen Beobachtungsorten aus gemessen wird. Die übrigen Verfahrungsweisen sind so sehr an bestimmte Bedingungen in Bezug auf Zeit oder Ort usw. gebunden, daß sie nur verhältnißmäßig selten zur Anwendung gelangen können. — Wo Berge über die Wolken emporragen, kann an ihnen, wie an einer Scale, die Höhe derselben abgelesen werden; das ist aber im Allgemeinen nur in Hochgebirgen möglich. — Luftfahrten werden viel zu selten unternommen, als daß aus den dabei gemachten Beobachtungen allgemeine Resultate in Bezug auf die hier in Betracht kommenden Fragen abgeleitet werden können. — Das Bernoulli'sche Verfahren¹⁾, aus der Beobachtung der Zeit, wo eine Wolke zuletzt von der untergegangenen oder zuerst von der aufgehenden Sonne beschienen wird, ihre Höhe zu bestimmen, ist auf die Dämmerung beschränkt und dazu ungenau. — Die von Wartmann²⁾ angegebene, von Bravais³⁾ angewandte Methode, welche auf der Benutzung des Spiegelbilds der Wolke in einem Wasserbecken (Teich, See etc.) beruht, ist eben an das Vorhandensein eines solchen Beckens und (wenn einige Genauigkeit erreicht werden soll) eines mehrere hundert Fufs höher passend gelegenen Observatoriums geknüpft, und bleibt doch immer, wenn nicht ganz besonders günstige örtliche Verhältnisse vorliegen, nur auf einen sehr kleinen Theil des Himmels anwendbar. — Das Verfahren von Dupré⁴⁾ erfordert ebenfalls eine besonders geeignete Oertlichkeit und ist auf einen einzigen Punkt des Himmels beschränkt.

Die Methoden nun, welche zur ersten der oben aufgestellten Gruppen gehören, hängen nicht wie die meisten der

1) Jacob Bernoulli, *Acta erudit.* 1688.

2) *Bulletin de la soc. Vaudoise* No. II. — Pogg. *Annalen* Bd. LVI, S. 635. (1842).

3) *Nouv. mém. de l'ac. roy. de Bruxelles* t. XVI, 4^e app. p. 95. (1843).

4) *Annuaire météor.* pour 1851. — E. E. Schmid, *Lehrbuch der Meteorologie*.

bisherigen von einer besondern Beschaffenheit der Oertlichkeit ab und erfordern keine besonderen Vorkehrungen; dagegen ist bei ihnen allen eine genaue Bekanntschaft mit der Gegend von Seiten des Beobachters, um die Lage des Schattens sicher bestimmen zu können, und eine gute Specialkarte nöthig, um daraus die betreffenden Entfernungen und Winkel mit Genauigkeit entnehmen zu können.

Das erste hierher gehörige Verfahren hat Lambert¹⁾ angegeben. Er bestimmt zunächst die Geschwindigkeit der Wolken durch Beobachtung ihres Schattens, dann mißt er bei einer Wolke, welche dem zur Windrichtung senkrechten Verticalkreis nahe steht, die Winkelgeschwindigkeit und den Höhenwinkel, setzt voraus, daß die vorher gefundene Geschwindigkeit auch der zuletzt beobachteten Wolke zukomme, und berechnet aus diesen Daten ihre Höhe²⁾. Es ist nun aber offenbar sehr gewagt, den zwei oft weit auseinander liegenden Wolken dieselbe Geschwindigkeit zuzuschreiben, da wir ja wissen, wie häufig Wolken übereinander mit verschiedener Geschwindigkeit, ja oft genug in verschiedener Richtung ziehen. Aber auch außerdem besitzt die Methode noch mancherlei Fehlerquellen, so daß nur in seltenen Fällen die wünschenswerthe Genauigkeit zu erreichen seyn wird.

Ein anderes Verfahren rührt von Wrede³⁾ her; danach hat man möglichst zu derselben Zeit die Höhenwinkel zweier in demselben Verticalkreis liegender Wolkenpunkte

1) *Nouv. mém. de l'ac. année 1773.* Berlin 1775. p. 44.

2) Dies ist die ursprüngliche von Lambert selbst gegebene Methode; im Lauf der Zeit hat man ihm eine andere untergeschoben, die kaum noch einige Ähnlichkeit mit der beschriebenen besitzt (s. z. B. E. E. Schmid, *Lehrbuch der Meteorologie*). Danach sollen in zwei auf einanderfolgenden Zeitmomenten die Höhenwinkel einer in einem Verticalkreise des Beobachters ziehenden Wolke gemessen und zugleich die Verschiebung ihres Schattens beobachtet werden. Unter der Voraussetzung, daß die Wolke sich in der Zwischenzeit horizontal fortbewegt habe, ist es dann möglich, ihre Höhe zu bestimmen. Auch diese Methode wird durch vielfache ihr anhaftende Fehlerquellen ungenau und ist nur auf einen einzigen Verticalkreis, den der Windrichtung, beschränkt.

3) *Pogg. Ann.* Bd. VII, S. 308. (1826).

zu messen und zugleich die Lage der entsprechenden Punkte des Schattens aufzuzeichnen. Durch diese Messungen sind in dem Dreiecke, dessen Eckpunkte durch die zwei Wolkenpunkte und den Beobachter gebildet werden, die Winkel und eine Seite bekannt, man kann folglich die Höhe der Wolke leicht berechnen. Auch bei dieser Methode hat man keine große Genauigkeit zu erwarten. Denn dadurch, daß zugleich zwei Punkte der Wolke und des Schattens beobachtet werden müssen, wird die Aufmerksamkeit zersplittert und die Messung erschwert. Dazu wird meist — als weitere Quelle von Ungenauigkeiten — in dem aufzulösenden Dreieck ein sehr spitzer Winkel vorkommen, denn im Allgemeinen sind Wolken von kleinem Durchmesser zu diesen Messungen am geeignetsten, da man bei ihnen leichter als bei großen diejenigen Punkte des Schattens auf findet, welche bestimmten Stellen der Wolke entsprechen. — Ferner wird die Anwendbarkeit des Verfahrens, das allerdings nicht wie das vorige bloß auf eine bestimmte Himmelsgegend beschränkt ist, dadurch beeinträchtigt, daß die beiden betreffenden Wolkenpunkte in demselben Höhenkreis liegen müssen, indem es öfter bei sonst ganz geeigneten Wolken nicht gelingt, zwei solche Punkte nebst den entsprechenden des Schattens aufzufinden.

Die letzte hier zu erwähnende Methode ¹⁾ wird von Brandes ²⁾ kurz angedeutet und ist sehr einfach und genau für solche Wolken, die sich im Vertical der Sonne befinden. Man beobachtet danach den Höhenwinkel der Sonne und eines Wolkenpunktes und außerdem die diesem letzteren entsprechende Stelle des Schattens, dann hat man unter der angegebenen Bedingung in dem Dreieck, dessen Ecken Beobachter, Wolke und Schatten sind, den Winkel und eine Seite bestimmt und kann die Höhe der Wolke berechnen.

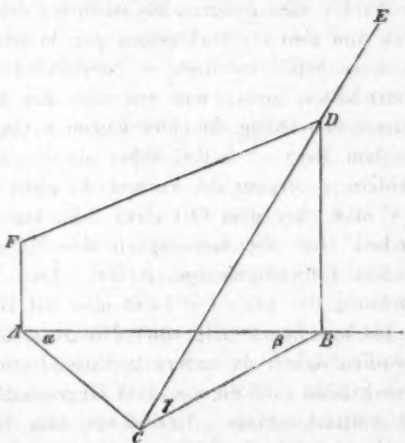
1) Ein von Arago *Compt. rend.* T. XI. p. 323 angegebenes Verfahren lassen wir unberücksichtigt, da es an Genauigkeit den angeführten nachsteht und auch nur für Beobachtungen auf der See bestimmt ist, wo fast alle anderen nicht angewandt werden können.

2) Beiträge zur Witterungskunde S. 336. (1820).

Dies sind die bisher auf die Benutzung des Schattens gegründeten Methoden zur Bestimmung der Wolkenhöhe. Im Folgenden füge ich ihnen eine neue bei, von der man, wie ich hoffe, finden wird, daß sie nicht unwesentliche Vorzüge vor den bisherigen besitzt. Während diese nämlich nur in einem einzigen Verticalkreis anwendbar sind, oder (Wrede'sches Verfahren) durch die Beobachtung zweier Wolkenpunkte in demselben Vertical erschwert werden, ist meine Methode auf den ganzen Himmel mit Ausnahme des Verticals der Sonne anwendbar und erfordert nur sehr einfache Beobachtungen an einem Wolkenpunkte. Während ferner für die sämtlichen bisherigen Verfahrensweisen ein Winkelmessinstrument nothwendig ist, bedarf ich nur einer guten Taschenuhr und eines einfachen Lothes, welches durch einen an einen Bindfaden befestigten Stein leicht hergestellt werden kann. Dadurch ist eine große Bequemlichkeit in der Anstellung der erforderlichen Beobachtungen erreicht, die nun ohne alle Vorbereitungen bei gelegentlichen Spaziergängen, wo man ein geeignetes Stück der Gegend überblickt, vorgenommen werden können. Endlich geht aus der unten folgenden Untersuchung der Genauigkeit der Methode hervor, daß sie alles leistet, was man von solchen Beobachtungen irgend verlangen kann. Jedenfalls werden ihr auch in dieser Beziehung die bisherigen auf die Benutzung des Schattens gegründeten Verfahrensweisen (vielleicht mit Ausnahme der Brandes'schen) nicht gleichkommen.

Die Grundlage meiner Methode ist nun die Bemerkung, daß die Wolke den Durchschnittspunkt ihres Verticalkreises und der durch Sonne, Wolke und Wolkenschatten gehenden Geraden bildet. Man hat daher den Ort der Wolke, wenn man die Lage dieser Ebene und dieser Geraden bestimmen kann. Die hierzu nöthigen Beobachtungen sind folgende. Nachdem man in einer Wolke und ihrem Schatten zwei zusammengehörige Punkte aufgefunden hat, notirt man zunächst die Lage des Schattenpunkts; am besten ist es zu diesem Zweck, dieselbe unmittelbar in eine Specialkarte der

Gegend einzutragen; außerdem genügt es aber auch, mit ein paar Strichen die Lage des Schattens in Bezug auf bekannte Gegenstände aufzuzeichnen. Sodann mißt man das Azimuth des Wolkenpunktes. Hierzu dient das Loth, das man entweder mit der Hand halten, oder besser vor der Beobachtung an einem Baum oder einem anderen passenden Gegenstand aufhängen kann. Man bringt den Faden des Loths mit dem Wolkenpunkt zur Deckung und beobachtet irgend einen bekannten Gegenstand, der ebenfalls vom Faden geschnitten wird, dann liegen dieser und der Wolkenpunkt in einer verticalen Ebene, deren Lage durch den bekannten Gegenstand bestimmt ist. Endlich notirt man die Zeit. Zu diesen Beobachtungen bedarf man bei einiger Uebung kaum einer Secunde, vorausgesetzt natürlich, daß man die Aufzeichnungen nach Beendigung derselben vornehme.



Wie man hieraus die Höhe der Wolke finden könne, lehrt eine einfache Betrachtung. In der Figur sey D der beobachtete Punkt der Wolke, C sein in der Ebene liegender Schatten, also CDE die Richtung nach der Sonne; B sey die senkrechte Projection von D in die Ebene; F stelle den

Standpunkt des Beobachters und A seine Projection auf die Ebene vor. Es handelt sich nun um die Bestimmung der Höhe BD . Nun ist aber

$$BC = CB \cdot \operatorname{tg} \gamma, \text{ und da}$$

$$CB = AC \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \text{ so folgt}$$

$$(A) \quad BD = AC \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \operatorname{tg} \gamma.$$

Die auf der rechten Seite dieser Gleichung stehenden Gröfsen können aber aus den Beobachtungen leicht abgeleitet werden. Die Gröfse und Richtung der Geraden AC ergibt sich sofort, da wir die Lage ihrer Endpunkte A und C kennen; durch die beobachtete Zeit ist der Stand der Sonne, also auch ihr Azimuth und ihre Höhe bestimmt, wir kennen somit die Richtung der Linie CB und den Winkel γ ; durch die Beobachtung mit dem Loth haben wir endlich die Lage der Ebene $ABDF$ und dadurch die Richtung der Linie AB bestimmt; es sind also die Richtungen der Winkel α und β und damit diese selbst bekannt. — Natürlich braucht sich der Wolkenschatten nicht, wie wir hier der Einfachheit wegen angenommen haben, in einer Ebene zu befinden, er kann auf einem Berg — selbst höher als der Standpunkt des Beobachters — liegen; die Formel (A) giebt immer die Höhe der Wolke über dem Ort ihres Schattens.

Ein Urtheil über die Genauigkeit der Methode kann man sich leicht folgendermaafsen bilden. Den Winkel γ und die Richtung der Linie CB kann man mit Hülfe einer guten Uhr bis auf Bruchtheile einer Minute genau bestimmen; wir wollen daher, da andere bedeutend gröfsere Fehlerquellen vorhanden sind, die aus einer Ungenauigkeit hierin entstehende vernachlässigen. Bezeichnet man ferner das Verhältnifs des in der Bestimmung von AC begangenen Fehlers zu der gefundenen Zahl mit d , den Fehler in der Richtung von AC mit δ_1 und den von AB mit δ_2 , so erhält man nach Formel (A) für die wahre Höhe der Wolke:

$$CD = AC(1 + d) \frac{\sin(\alpha + \delta_1 + \delta_2)}{\sin(\beta - \delta_2)} \operatorname{tg} \gamma.$$

Stehen gute Karten zur Disposition, wie das für den Regierungsbezirk Kassel in der Niveau-Karte des Kurfürstenthums Hessen (Maafsstab $\frac{1}{35000}$) in vorzüglicher Weise der Fall ist, so kann man die Länge von AC recht wohl als auf $\frac{1}{2}$ Proc. genau bestimmt ansehen; δ_1 schätze ich unter diesen Umständen höchstens zu $\frac{1}{4}^\circ$ und δ_2 zu $\frac{1}{2}^\circ$. Mit Einsetzung dieser Zahlenwerthe in die obige Gleichung findet man nach einiger Umformung, daß der bei der Höhenbestimmung möglicherweise begangene Fehler kleiner ist als $(0,005 + 0,0013 \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta})$ des gefundenen Werths. Es ist also vortheilhaft, wenn die Summe von α und β nahe gleich π und keiner der beiden Winkel gleich spitz ist.

Hier einige Beispiele.

Am 14. Juni d. J. Morgens zwischen 9 und 10 Uhr machte ich auf einem Berg bei Marburg einige Beobachtungen nach der angegebenen Methode, aus welchen sich folgende Werthe für die in (A) vorkommenden Größen ergaben (die Längenangaben in rheinl. Fussen):

	I	II	III	IV	V
AC	4440'	5628'	3120'	15552'	4968'
α	38° 0'	29° 30'	76° 25'	12° 57'	40° 68'
β	63 37	68 28	76 5	80 51	90 48
γ	47 59	48 33	49 7	51 3	52 22

Hieraus ergibt sich die Höhe der Wolken

für Beob. I zu 3387' üb. ihrem Schatten; zu 3957' üb. d. Meer

„	„	II	„	3007	„	„	„	3577	„	„	„
„	„	III	„	3685	„	„	„	4252	„	„	„
„	„	IV	„	4367	„	„	„	4922	„	„	„
„	„	V	„	4193	„	„	„	5003	„	„	„

Die Schatten der vier ersten Wolken lagen in der Ebene des Lahnthals, die der fünften auf dem gegenüberliegenden Schloßberg.

Berechnen wir nun die GröÙe des möglicherweise be-

gangenen Fehlers nach der oben aufgestellten Formel, so finden wir denselben

für Beobachtung	I	kleiner als	2,8 Proc.
" "	II	" "	3,3 "
" "	III	" "	1,1 "
" "	IV	" "	6,4 "
" "	V	" "	2,0 "

Sehr deutlich tritt in diesen Zahlen, die übrigens wahrscheinlich bei weitem nicht erreicht werden, der schädliche Einfluss des kleinen Winkels von $12^{\circ} 57'$ in der vierten Beobachtung hervor. Dagegen zeichnet sich die dritte Beobachtung, in welcher die Summe von α und β die grösste und auch jeder Winkel einzeln gross ist, vorthailhaft vor den übrigen aus.

Die vorgeschlagene Methode hat aber bei allen Vorzügen und aller Bequemlichkeit ihrer Ausführung doch gewisse Mängel mit den andern zu derselben Gruppe gehörigen gemein. Sie kann nur bei einer bestimmten Himmelsbeschaffenheit und bei Wolken angewandt werden, die dicht genug und scharf genug begränzt sind und niedrig genug schweben, um leicht kenntliche Schatten zu werfen.

Diese Mängel sind bei der zweiten der eingangs erwähnten Gruppen vermieden; freilich sind bei derselben auch grössere Hilfsmittel nöthig. Es gehören hieher die Methoden von Riccioli ¹⁾, Kämtz ²⁾ und Pouillet ³⁾. Riccioli schlug vor, dass sich an den Endpunkten einer im Verticalkreis des Wolkenzugs gemessenen Standlinie zwei Beobachter aufstellen und zu gleicher Zeit die Höhenwinkel eines in demselben Vertical befindlichen Wolkenpunktes messen sollten. Daraus liesse sich offenbar leicht die Höhe finden. Allein das Verfahren hat seine grossen Schwierigkeiten, denn ist die Standlinie klein, so wird die Messung leicht sehr ungenau, ist sie gross, so wird es den Beobachtern schwer,

1) *Almagestum novum* T. I, p. 82 (1651).

2) *Lehrbuch der Meteorologie* Bd. I, S. 381 (1831).

3) *Compt. rend. t. XI*, p. 717 (1840). *Pogg. Ann.* Bd. LII, S. 41.

sich gehörig zu verständigen. Kämtz versuchte daher die Messungen allein auszuführen. Er maafs den Höhenwinkel einer Stelle der Wolke zunächst an dem einen Ende der Standlinie, begab sich rasch an das andere Ende, bestimmte hier zum zweiten und, an den Anfang zurückgekehrt, zum dritten Mal den Höhenwinkel derselben Stelle; er nahm nun an, dafs sich die Wolke in der Zwischenzeit mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegt habe und berechnete daraus den Höhenwinkel, welchen zur Zeit seiner zweiten Beobachtung die Wolke in Beziehung auf den ersten Punkt wahrscheinlich gehabt hatte. Dafs dies aber bei einer irgend erheblichen Länge der Standlinie, wie sie bei diesen Messungen doch genommen werden mufs, ein äufserst unzuverlässiges Verfahren ist, liegt auf der Hand. Pouillet suchte den Uebelständen des Verfahrens von Riccioli in anderer Weise abzuhelpen. Nach ihm »mifst man an einem geeigneten Ort in der Ebene eine Standlinie von etwa 1000 Met. Länge und stellt an beiden Enden derselben einen Theodoliten auf, dessen in verticaler Ebene bewegliches Fernrohr mit genau auf dessen Axe lothrecht aufgerichteten, von ihr gleichweit abstehenden Dioptern versehen ist, weil das Fernrohr selbst wegen Kleinheit des Gesichtsfeldes und des Mangels einer scharfen Unterscheidung einzelner Wolkenpunkte sich nicht eignet. Neben jedem Theodoliten befindet sich ein Chronometer, und zur Erleichterung der Operation sind beide Chronometer auf die nämliche Zeit gestellt. Vor jeder Messung kommen beide Beobachter auf der Mitte der Station zusammen, wählen eine der geeigneten Wolken aus und bestimmen an dieser den Punkt, nach welchem visirt werden soll, wozu ein bewegliches Lineal dient, welches am einen Ende ein Fadenkreuz, am anderen eine Platte mit einem kleinen Löchelchen hat. Nachdem der zu messende Punkt und die Zeit, wann auf beiden Stationen beobachtet werden soll, verabredet worden ist, begiebt sich jeder schnell und ohne den gewählten Punkt aus dem Auge zu verlieren, um etwaige Veränderungen zu bemerken, an seinen Theodoliten, nimmt die Messung vor,

stellt dem Theodolit zur vorher bestimmten Zeit fest, und zeichnet die Zenithdistanz und den Azimuthwinkel des bezeichneten Punktes auf¹⁾.

Diese Methode ist jedenfalls die genaueste der bisher angegebenen, aber ihre Ausführung bietet groſse Schwierigkeiten und erfordert sehr kostbare Hilfsmittel, die wohl nur selten zu einer längeren Beobachtungsreihe zur Verfügung stehen dürften. Zunächst wird man in Wirklichkeit die angenommene Länge der Standlinie (1000 Meter) bedeutend reduciren müssen, wie aus Pouillet's eigenem Versuch, den er zur Prüfung seiner Methode anstellte²⁾, hervorgeht. Er fand es wegen der Veränderlichkeit der Wolken nicht möglich, eine längere Basis als von 600 Met. anzuwenden, obgleich er Wagen zum schnellen Transport der Beobachter benutzte. Nun spricht er zwar davon, wenn man die Standlinie auf eine Eisenbahn verlege und statt der Wagen zwei Locomotiven anwende, um sich von der Mitte der Basis nach ihren Endpunkten zu begeben, daſs man dann eine viel gröſsere Entfernung wählen könne; aber es ist wohl kaum sehr wahrscheinlich, daſs einmal einem Physiker solche Hilfsmittel zu diesen Beobachtungen zu Gebote stehen werden. — Die Chronometer, die Pouillet verlangt, würden sich wohl durch zwei gute, genau mit einander verglichene Taschenuhren ersetzen lassen, aber die Theodoliten müſsten jedenfalls beibehalten werden, da es bei der Kleinheit der Standlinie auf äufserste Genauigkeit in den Winkelbestimmungen ankommt; so würde z. B. ein Fehler von ungefähr 2 Minuten hierin bei den Beobachtungen Pouillet's, die eine Höhe von etwa 36000 Fuſs ergaben, schon einen Fehler von 1000 Fuſs im Resultat bewirken. — Unter diesen Umständen ist es wohl nicht auffallend, daſs nach dem einen Pouillet'schen Prüfungsversuch, soviel ich weifs, niemals wieder die Höhe der Wolken auf diese Weise gemessen worden ist.

Die Schwierigkeiten, welche alle zu dieser Gruppe ge-

1) Munké in Gehler's phys. Wörterbuch Th. X, S. 2301.

2) Pogg. Ann. Bd. LII, S. 51.

höri
hoff
hab
kan
Mes
für
Cirr
Die
Hor
und
phot
Stell
ter
und
zwei
We
und
zelh
kein
Vor
Es i
den
belic
heid
tigt,
leich
sehr
Cop

vo
D
in I
flus

hörigen Methoden bisher in der Anwendung gefunden haben, hoffe ich nun bei dem folgenden Verfahren beseitigt zu haben. An zwei Orten, deren gegenseitige Entfernung bekannt ist, werden photographische Apparate aufgestellt. Zur Messung der tieferen Wolken werden wohl 2 bis 3000 Fufs, für die höheren 1 bis 2 Stunden und für die höchsten Cirri etwa 3 Stunden die passendsten Entfernungen seyn. Die Apparate werden in genau bekannter Neigung gegen den Horizont und Richtung gegen die Himmelagegenden aufgestellt und dann in vorher verabredeten Zeitpunkten an beiden Orten photographische Aufnahmen der Wolken gemacht. Aus der Stelle, an welcher in einer solchen Aufnahme ein bestimmter Wolkenpunkt erscheint, kann man nun sein Azimuth und seine Zenithdistanz bestimmen, und wenn er sich auf zwei gleichzeitig gemachten Aufnahmen vorfindet, sind die Werthe derselben für die beiden Beobachtungsorte gefunden und daraus kann leicht die Höhe berechnet werden. Die Einzelheiten halte ich vorläufig noch zurück, da ich bisher noch keine Gelegenheit gehabt hatte, sie praktisch zu erproben. Die Vorzüge des Verfahrens springen aber sofort in die Augen. Es ist hier keine Verabredung über einen zu beobachtenden Wolkenpunkt nöthig, und die Stationen können in beliebiger Entfernung genommen werden; damit sind die beiden Hauptschwierigkeiten der bisherigen Methoden beseitigt. Außerdem sind zwei photographische Apparate weit leichter zu beschaffen als zwei Theodoliten und nicht so sehr Beschädigungen ausgesetzt. Vorkehrungen zu rascher Communication sind ganz überflüssig.

**X. Ein einfacher Thermoregulator;
von Prof. E. Reichert in Freiburg (Baden).**

Das Princip dieses Regulators besteht darin, daß das sich in Folge der Erwärmung ausdehnende Quecksilber die Zuflußöffnung des zur Heizung dienenden Leuchtgases regulirt,

resp. verschließt. Figur 6, Taf. VI stellt den Apparat in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Gröfse vor; *C* ist das mit Quecksilber gefüllte Gefäß, dessen Thermometerröhre nach oben sich zu einem Cylinder erweitert. In diesem Cylinder ist das Gaszuflußrohr *A* eingeschmolzen und reicht bis an die Stelle, an der die Erweiterung der Thermometerröhre beginnt; dasselbe hat bei *a* eine äußerst feine Oeffnung. Durch die Röhre *B*, welche an den Cylinder angesetzt ist, strömt das Gas nach dem Brenner ab. Fig. 7, Taf. VI zeigt die Zusammenstellung des Apparates zur Erwärmung einer Flüssigkeit in einer Kochflasche auf constante Temperatur.

Die Wirkung des Regulators ist leicht ersichtlich. So lange das Quecksilber sich noch in der Thermometerröhre befindet, strömt das Gas ungehindert nach dem Brenner ab und die Erwärmung nimmt zu; dadurch steigt das Quecksilber allmählig in die Erweiterung, beginnt dort das Gas abzusperren und gelangt erst zur Ruhe, wenn die Wärme, welche durch das verbrennende Gas dem zu erwärmenden Gefäße zugeführt wird, gleich ist der von letzterem an die Umgebung abgegebenen Wärmemenge. Damit bei zu raschem Erhitzen und darauf erfolgender vollständiger Verschließung die Gasflamme nicht erlösche, ist bei *a* die feine Oeffnung angebracht, durch welche das Erhaltungsfämmchen gespeist wird. — Um auf bestimmte constante Temperatur bequem einzustellen, ist an der Thermometerröhre seitlich eine weitere mit Quecksilber gefüllte, am anderen Ende mit einer leicht beweglichen Schraube *S* verschlossene Glasröhre angesetzt. Wird die Schraube herausgeschraubt, so sinkt das Quecksilber in der Thermometerröhre und die Temperatur, auf welche das zu erhaltende Gefäß erwärmt wird, fällt höher aus, im entgegengesetzten Falle niedriger.

Am bequemsten regulirt man in der Art, daß wenn die constante Temperatur bis auf etwa 2° erreicht ist, man dieselbe sehr langsam ansteigen läßt, und wenn dieselbe eingetreten, mit der Schraube das Quecksilber so weit hinaufdrückt, daß die Flamme eben anfängt kleiner zu werden.

Mit derartigen Regulatoren habe ich beliebige Wasser-

und Luftmassen Tage lang auf einer Temperatur erhalten, die auf $\pm 0^{\circ},1$ C. constant sich erhielt und zwar auf allen Temperaturen, welche von 1° an über der höchsten Temperatur des Zimmers lagen. Beizufügen ist jedoch noch, daß wenn man auf sehr genaue Temperaturinhaltung reflectirt, man größere thermometrische Gefäße anwenden muß und in Folge dessen die Temperatur nur sehr langsam steigen darf¹⁾; soll jedoch die Temperatur nur auf 1° bis 2° constant seyn, so genügen die Gefäße von der Größe gewöhnlicher Thermometerkugeln oder -Cylinder.

Sollen ganz niedere Temperaturen eingehalten werden, so ist die Oeffnung *a* sehr fein zu machen und statt eines Bunsen'schen Brenners ist ein solcher mit feiner Mündung, etwa eine Löthrohrspitze zu verwenden. Außerdem legt man in diesem Falle, um die Wärmewirkung zu mäßigen, unmittelbar über das Flämmchen ein Drahtnetz und bringt den zu erwärmenden Körper in einem Abstände von 1 bis 3 Decim. darüber an. Für Temperaturen unterhalb der umgebenden Luft läßt sich mit gleichzeitiger Benutzung des Regulators sehr zweckmäfsig eine Kühlung mit kaltem Wasser vornehmen. Ich habe in einem Zimmer, dessen Temperatur 15° betrug, mit Kühlwasser von 10° den Inhalt der Flasche beliebig lang auf 12° erhalten.

Endlich bemerke ich noch, daß Herr C. Kramer, Glasbläser hier, dessen Arbeiten überhaupt mit großer Geschicklichkeit und Genauigkeit ausgeführt werden, diese Regulatoren allen Anforderungen gemäß zum Preise von 2 Thlr. herstellt.

1) Für diesen Fall habe ich eigenthümlich construirte Thermometer mit Petroleum oder Weingeist angewendet.

XI. Ueber eine Bestimmungsweise der Dichtigkeit einer Flüssigkeit in einem geschlossenen Raum; von Hrn. F. J. Stamkart.

(Arch. néerland. d. sciences etc. T. VI. p. 217.)

Das Verfahren, welches ich beschreiben will, setzt voraus: erstens daß man die zu bestimmende Dichtigkeit schon angenähert kenne; daß man in die Flüssigkeit einen (hohlen) Glaskörper hinablasse, dessen mittlere Dichtigkeit die der Flüssigkeit wenig übertrifft; daß man das Minimum der zur Hebung dieses Körpers in der Flüssigkeit erforderlichen Kraft bestimme; und endlich daß dieses Kraft-Minimum gemessen werde durch den Magnetismus, welcher auf einen kleinen in dem Glaskörper angebrachten Magnetstab einwirkt.

Sei *ABCD* (Fig. 8, Taf. VI) ein geschlossenes Gefäß oder Fläschchen, gefüllt bis zum Niveau *EF* mit der zu untersuchenden Flüssigkeit. *I* ist eine vor der Lampe zugeschmolzene Ampulle, wie man sie gewöhnlich zur Bestimmung der Dichtigkeit mittelst der Wägungsmethode anwendet. Bei dieser Methode muß die Ampulle mittelst eines dünnen Drahts oder eines Haares an eine der Waagschalen aufgehängt werden. Bei unserem Verfahren dagegen enthält die Ampulle einen kleinen Magnetstab in verticaler Stellung, und außerdem etwas Quecksilber, damit das eine oder andere ihrer Enden nach Belieben zu unterst in der Flüssigkeit gehalten werden könne.

G und *H* sind zwei Ringe von Kupfer oder besser Platin, zwischen welchem die Ampulle sich bewegen muß.

Wenn die Ampulle, belastet mit ihrem Magnetstab und ihrem Quecksilber auch nur ein wenig specifisch schwerer ist als die Flüssigkeit, so ruht sie auf dem unteren Ring *H*. So wie sie aber ein wenig leichter wird, stellt sie sich unter den oberen Ring *G*, der sie verhindert bis zur Oberfläche *EF* empor zu steigen und theilweise daraus hervorzuragen.

Gesetzt die Ampulle, deren Gewicht und äußeres Volumen bekannt seyn müssen, sey etwas schwerer als die verdrängte Flüssigkeit und ruhe demnach auf dem unteren Ring *H*. Es handelt sich dann darum, die Kraft zu bestimmen, mit welcher die Ampulle auf den Ring drückt.

Zu dem Ende wird lothrecht über der Ampulle und dem darin vorhandenen kleinen Magnet ein größerer Magnetstab *M* angebracht, solchergestalt, daß die anziehenden oder ungleichnamigen Pole einander zugekehrt sind; anfangs muß der Abstand so gewählt seyn, daß die magnetische Anziehung nicht hinreicht, die Ampulle von dem Ringe abzuheben. Läßt man nun den Stab *M* langsam herab, so wächst die magnetische Anziehung und kann der Kraft, mit welcher die Ampulle auf den Ring lastet, gleich werden. In diesem Moment übt die Ampulle keinen Druck mehr auf den Ring aus, und wie wenig man auch den Magnet *M* näher bringen mag, fängt sie an zu steigen. Läßt man den Stab *M* in der Stellung, welche man ihm gegeben hat, so fährt die Ampulle fort, mit beschleunigter Geschwindigkeit zu steigen, bis sie gegen den Ring *G* stößt und denselbst stillsteht. Die Entfernung zwischen den Stäben *M* und *m* ist alsdann um den von der Ampulle zurückgelegten Weg verringert. Wenn man nun den Stab *M* um eine diesem Wege gleiche Größe und einen geringen auch noch so kleinen Ueberschuß wieder hebt, so bebiegt sich die Ampulle wieder hinab, bis sie den Ring *H* erreicht hat.

Der Abstand zwischen beiden Magneten im Moment, da man das Steigen oder das Sinken der Ampulle beobachtet, ist also im ersten Fall etwas kleiner, und im zweiten etwas größer als der wirkliche Abstand, bei welchem die magnetische Anziehung gleich ist dem Druck, welchen die Ampulle, in Abwesenheit des Stabes *N*, auf den Ring *H* ausübt.

Hat man die Beobachtung, die übrigens leicht zu wiederholen ist, mit Sorgfalt gemacht, so ist das Mittel aus beiden Abständen nicht merklich verschieden von dem richtigen Abstand.

Der gesuchte Druck der Ampulle auf den Ring *H* wird

also eine Function seyn aus den Abständen, die man zu Anfange der steigenden Bewegung und zu Anfange der sinkenden beobachtet hat.

Der Stab *M* muß natürlich verschiebbar seyn längs einer getheilten Skale, die gegen die Ringe *H* und *G* eine feste Stellung hat; die übrigen Einrichtungen, die zur Verwirklichung der eben im Princip auseinandergesetzten Idee erforderlich sind, wird man sich leicht vorstellen können.

Das Einzige noch Nöthige ist: daß man für jeden Abstand zwischen den Mittelpunkten der beiden Magnete *M* und *m* die magnetische Anziehung in *Milligrammen* ausdrücke. Es ist klar, daß dies nur durch Versuche zu erreichen ist, die zuvor mit jedem speciellen Paare von Magnetstäben angestellt worden sind.

Die Function, welche die anziehende Kraft des Magnets mit ihrem Abstand verknüpft, ist leicht mit der nöthigen Genauigkeit zu finden.

Sind *L* und *l* die halben Abstände der Nord- und Südpole jedes der einzelnen Magnetstäbe und *x* der Abstand der Mittelpunkte, so wird die magnetische Anziehung mit hinreichender Genauigkeit ausgedrückt durch die Formel:

$$F = A \left\{ \frac{1}{(x - L - l)^2} + \frac{1}{(x + L + l)^2} - \frac{1}{(x - L + l)^2} - \frac{1}{(x + L - l)^2} \right\} \\ = 24 A \left\{ 1 + \frac{10}{3} \frac{L^2 + l^2}{x^2} \right\} \frac{Ll}{x^3} + \dots$$

worin *A* eine constante Zahl, proportional dem Product der magnetischen Intensitäten beider Magneten. Man kann also, da *L* und *l* angenähert bekannt sind, setzen:

$$F = \frac{M}{x^4} + \frac{N}{x^3} + \dots$$

wo die Zahlen *M* und *N* durch Beobachtung bestimmt werden müssen.

Zu dem Ende wird man, scheint mir, folgendermaassen zu verfahren haben.

Man bringt die Ampulle vertical, wie sie sich in der Flüssigkeit stellt, auf eine der Schalen einer Waage und equilibriert sie mittelst eines auf die andere Schale gelegten

Gewichts, solchergestalt, daß die Zunge der Waage kleine möglichst gleiche Oscillationen rechts und links vom Ruhepunkt oder Nullpunkt der graduirten Scale mache.

Unter der Schale, welche die Ampulle einnimmt, bringe man eine Stütze an, welche die Schale eben berührt, ohne sie zu heben; und auch unter der anderen Schale, aber viel niedriger, stelle man eine solche Stütze auf; der Niveau-Unterschied muß z. B. beinahe gleich seyn dem Abstand, welchen die Ampulle in der Flüssigkeit zwischen den beiden Ringen zu durchlaufen hat.

In diesem Zustand wird die Waage wohl nach Seite der mit Gewicht belasteten Schale ausschlagen können, aber nicht nach Seite der Ampulle.

Man lege nun auf Seite der letzteren ein kleines Gewicht, ein Gramm, ein halbes Gramm oder auch nur einige Milligramme. Wenn man nun die Stütze unter der Schale, die mit der Ampulle und dem hinzugefügten Gewicht belastet ist, nach Bedürfnis etwas hebt oder senkt, so bewirkt man, daß die Zunge der Waage genau den Gleichgewichtspunkt anzeigt. Hierauf nähert man den Magnet M der Ampulle bis zu einem solchen Abstand, daß die entsprechende Schale zu steigen anfangt; die Waage wird ausschlagen, bis die andere Schale auf ihrer Stütze zur Ruhe gelangt.

Der Abstand zwischen den Mittelpunkten M und m im Augenblick, da die Ampulle zu steigen beginnt, wird derjenige seyn, bei welchem die magnetische Anziehung gleich ist dem bei der Ampulle aufgelegten Gewicht.

Dieser selbe Abstand kann ein zweites Mal bestimmt werden, wenn man den Stab M langsam hebt. Im Moment, da der Abstand zwischen M und m denselben Werth wieder genommen haben wird, wird die von der Ampulle eingenommene Schale wieder sinken. — Bei diesem letzten Versuch muß man jeden Stofs, jede Schwingung und jede Erschütterung der Luft mit größter Sorgfalt vermeiden, denn sonst sinkt die mit der Ampulle belastete Schale zu bald, eher als Mm die beabsichtigte Größe erlangt hat.

Legt man successive verschiedene Gewichte neben der Ampulle auf die Schale, so kann man auf diese Weise die Werthe der magnetischen Anziehung für eine Reihe von gegenseitigen Abständen beider Magnete bestimmen. Ein Temperatur-Unterschied übt vielleicht einigen Einfluss auf die Resultate, allein dieser Einfluss kann aus den Beobachtungen hergeleitet werden.

Es braucht wohl nicht gesagt zu werden, dass die zu diesen Untersuchungen angewandte Waage nicht von Eisen seyn darf. Ebenso wenig dürfen Schneiden und Pfannen von Stahl seyn; am besten ist es, sie von Agat zu nehmen. Hat man indess nur eine Waage mit stählernen Schneiden und Pfannen zu seiner Verfügung, so kann man auch durch besondere Versuche denjenigen Einfluss bestimmen, der aus der magnetischen Einwirkung des Stabes M auf die stählernen Theile des Waagbalkens entspringt. Dieser Einfluss wird übrigens immer sehr klein seyn, wenigstens dann, wenn der Stab M mit seinem benachbarten Pol der Schneide der Waage nicht zu nahe kommt.

Statt den Magnetstab M oberhalb der Schale zu halten, kann man ihn auch unterhalb anbringen. Sind beide Stäbe M und m regelmässig magnetisirt, so geschieht die Hebung des der Ampulle zugefügten Gewichts durch *Abstoßung*, sobald sich M unter der Schale befindet, bei demselben Abstand, bei welchem die Hebung durch *Anziehung* stattfinden würde, falls M sich über der Schale befände.

Man könnte also, um die Magnetkraft auf die Bestimmung der Dichtigkeit einer Flüssigkeit anzuwenden, den Magnetstab unter dem die Flüssigkeit enthaltenden Gefäße anbringen. In diesem Falle wäre es gut, um Seitenbewegungen der Ampulle zu verhindern, ihr zwischen den Ringen H und G nur einen kleinen Raum zum Durchlaufen zu geben, da andererseits kein Grund vorhanden ist, dass dieser Raum eine bedeutende GröÙe habe.

Jedenfalls sieht man leicht die Möglichkeit, die gegenseitige Wirkung der beiden Magnete leicht und vollständig auf experimentellem Wege zu bestimmen. Ein stark mag-

netisirter und in gröfserer Entfernung gehaltener Stab M ist einem schwächeren und näheren vorzuziehen.

Die zum Heben oder Senken der Ampulle nöthige Veränderung der Magnetkraft des Stabes M könnte auch auf andere Weise als durch Nähern oder Entfernen dieses Stabes bewerkstelligt werden, nämlich durch Schiefstellen desselben. Indefs da daraus eine Kraft entspränge, die dem in der Ampulle befindlichen Magnet eine schiefe Stellung zu geben suchte, so wäre es besser, in diesem Falle zwei Stäbe M und M' von möglichst gleicher Intensität anzuwenden. Machte man diese Stäbe um eine horizontale Axe beweglich und drehte sie in entgegengesetztem Sinn, so dafs sie gleiche Winkel mit der Verticalen bildeten, so würde die das Heben der Ampulle bewirkende Kraft eine Function des Winkels der Stäbe seyn. Vorläufig scheint jedoch die Anwendung eines einzigen Stabes, der sich längs einer getheilten Scale auf- und abschieben läfst, weil einfacher, den Vorzug zu verdienen.

Der Vorzug, welchen die eben beschriebene Methode vor der directen Wägung der in der Flüssigkeit aufgehängten Ampulle besitzt, besteht zum kleinsten Theil darin, dafs man nicht nöthig hat, einen Faden oder ein Haar durch die Flüssigkeit gehen zu lassen, woran unvermeidlich eine Capillarwirkung stattfindet, sondern beruht hauptsächlich darauf, dafs in dem verschlossenen Gefäfs keine Verdampfung stattfinden kann, was die Gleichförmigkeit der Temperatur der Flüssigkeit begünstigen, und überdies die Veränderungen, die gewisse Flüssigkeiten oder Gemenge während der Wägung erleiden könnten, verhindern mufs.

Diese Methode liefert auch das Mittel, die Dichtigkeit einer Flüssigkeit, z. B. des Wassers, bei Temperaturen über ihren Siedepunkt zu bestimmen, was meines Wissen noch nicht geschehen ist. — In diesem Fall mufs man jedoch die eventuellen Veränderungen der Magnetkraft des kleinen Stabes, so wie die mehr oder weniger grofse Compression der Ampulle in Rechnung ziehen. Letztere könnte übrigens aus einem anderen Material als Glas construiert werden.

XII. Ueber den Ton des Ohrenklingens; von J. J. Oppel.

(Aus d. Jahresber. d. phys. Vereins in Frankfurt a. M. 1869, S. 93)

Eine allbekannte physiologische Erscheinung ist das plötzliche Erklingen eines Tones, das nicht leicht zu Täuschungen des Urtheils Anlaß giebt, dessen Ursache wir vielmehr schon deshalb sofort in das Gehörorgan selber zu versetzen geneigt sind, weil sich die Wahrnehmung meist deutlich auf *eins* der beiden Ohren beschränkt; ein Umstand, welchem ein alter Volksglaube oder wenigstens Volksscherz in unserer Gegend (und wohl noch in manchen anderen) eine ethische Seite abgewonnen, indem er das »Ohrenklingen« als ein *Anzeichen* deutet, daß im Augenblicke *über uns geredet* wird, — lobend oder tadelnd, je nachdem das rechte oder das linke Ohr erklingen. Wie der Ton zu erklären sey, — werden vielleicht die Aerzte wissen: ich rede nur von seinen akustischen Eigenschaften.

Der Ton setzt nach meiner Erfahrung meist ganz plötzlich, mit ziemlicher Stärke und in ganz bestimmter Tonhöhe ein, wird allmählich etwas schwächer, und verklingt zuletzt, ohne dabei seine Tonhöhe merklich geändert zu haben, nicht unähnlich dem Verhalten des Klanges einer mit dem Hammer angeschlagenen Uhrlocke. Die Schallintensität ist *verschieden*, zuweilen erschreckend stark, oft leise, manchmal kaum hörbar. Er ist mit Gehörshallucinationen ebensowenig zu verwechseln, wie etwa die Lichterscheinung beim Schlag oder Druck auf das Auge mit einer Gesichtshallucination. Seine Dauer übersteigt selten (obwohl *manchmal*) 10 bis 20 Sekunden und unterscheidet ihn schon dadurch von dem sogenannten »Ohrensausen«, einer noch entschiedener krankhaften Erscheinung, die sich durch einen sehr tiefen brummenden, periodisch wiederkehrenden oder wenigstens anschwellenden und abnehmenden Klang im Ohr auszeichnet.

Ich hatte vor mehrern Jahren bei Gelegenheit einer leichten Fieberaffection das in Rede stehende Ohrenklingen öfter als gewöhnlich bemerkt, und an mehreren Abenden hintereinander im linken Ohr constant den Ton d^2 wahrgenommen. Es legte mir dieß die Frage nahe, ob vielleicht das Ohrenklingen überhaupt bei jedem Individuum, oder wenigstens bei jedem Ohr desselben in einer constanten Tonhöhe erfolge, und ich nahm mir vor, auf die Sache zu achten, da mir eine physiologische Erklärung des Phänomens von der Bejahung oder Verneinung dieser Frage zum Theil mit abzuhängen schien.

Ich gebe nun hier einstweilen ganz kurz und ohne alle weiteren Folgerungen das Resultat der seitdem an mir selbst gemachten, allerdings nicht sehr zahlreichen Beobachtungen über die Tonhöhe des fraglichen Klangs, indem ich rechtes und linkes Ohr gesondert aufführe, und nur die Fälle berücksichtige, wo ich meiner Sache hinlänglich sicher war. (Die Reihenfolge ist chronologisch, jedoch mit Weglassung des hier unerheblichen Datums der einzelnen Beobachtungen; die erste ist vom 11. Mai 1860, die sämtlichen übrigen aus den Jahren 1867, 68, 69 und 70 mit sehr verschiedenen Zwischenzeiten).

I. Rechtes Ohr.

- 1) fa^2 , stark
- 2) gis^2 , sehr schwach
- 3) b^3 , stark
- 4) $c^3 - \frac{1}{2}$, stark
- 5) e^3 (e^2), stark
- 6) $g^2 -$, stark
- 7) e^3 , schwach
- 8) g^3 (g^2), schwach
- 9) $a^2 +$, schwach

II. Linkes Ohr. 7)

- 1) d^1 (d^2), sehr stark
- 2) d^3 , schwach
- 3) gs^3 , stark
- 4) $h^3 -$, stark
- 5) $c^3 +$, stark
- 6) Ein überaus hohes Zischen, schwer bestimmbar
- 7) $g^2 -$, stark
- 8) g^3 , stark
- 9) $d^2 +$, stark
- 10) cis^2 , schwach
- 11) d^2 , stark
- 12) cis^2 , stark
- 13) b^1 , stark
- 14) d^2 (d^3), stark
- 15) e^2 , stark
- 16) es^2 , stark
- 17) f^1 (f^2), schwach
- 18) $as^1 +$, sehr stark.

Ich habe damit wenigstens das eine, wenn auch unbedeutende und negative Resultat, daß der in Rede stehende Ton sicher nicht für jedes Ohr ein *bestimmter* ist, sondern in einem sehr großen Spielraum (in den 27 Beispielen) zwischen d^1 und b^3 wechselt. Wo ich den Namen eines zweiten Tones (meist der höheren Octave) in Klammern beigelegt habe, schien dieser *mitzuklingen*; doch war der andere je-
desmal der deutlichere und *sicher vorhandene*.

Eine besondere Bemerkung habe ich über das Beispiel I, 6 hinzuzufügen. Es ist mit II, 7 identisch. Ich

- 1) Das Minuszeichen hinter einer Tonangabe will sagen, daß der Ton *etwas* tiefer, aber doch dem angegebenen Ton näher lag, als dem in der chromatischen Tonleiter nächstfolgenden tieferen; $c^3 -$ bedeutet demnach einen Ton, der zwischen c^3 und b^3 , aber dem ersteren näher lag; ebenso $c^3 +$ einen Ton, der dem c^3 näher kam als dem cis^3 , usw.
- 2) Welches bei mir viel häufiger zu klingen scheint als das rechte.

konnte nämlich bei dem sehr starken und deutlichen Ton, einem sehr knappen g^2 , durchaus nicht entscheiden, ob er im rechten oder linken Obre wahrgenommen ward. Er schien genau *mitten im Kopfe* zu erklingen, hielt dabei ausnahmsweise volle 7 Minuten an und wiederholte sich eine gute Viertelstunde später in ganz gleicher Weise und Tonhöhe mit einer Dauer von fast 5 Minuten. An demselben Abend, wiederum $\frac{1}{4}$ Stunden später, erklang dann, entschieden im *linken Ohr*, das unter II, 8 angeführte ganz reine g^2 , etwa eine Minute anhaltend¹⁾. (In allen übrigen Beispielen war die Dauer eine weit kürzere). In dem Beispiel II, 6 war der vernommene Ton überaus hoch und in Folge davon so unklar, daß ich ihn nicht genauer zu bestimmen, sondern nur mit dem Zischen eines kleinen Wassertropfens zu vergleichen vermochte, der auf einen heißen Stein fällt.

Offenbar verschieden von der besprochenen Erscheinung und namentlich von noch weit kürzerer Dauer, aber von ebenso klarer, bestimmter Tonhöhe ist ein anderes subjectives Geräusch, eine Art *Knacken* des Ohrs, welches ich namentlich bei etwas Nasenkatarrh und zwar meist beim Schnäuzen, (beim Beginn und dann wieder gleich nach demselben) vielfach beobachtet habe. Es ist ein ganz hoher,

- 1) Ich bemerke hiezu, daß bei mir, wie bei vielen Personen, das linke Ohr alle *objectiven* Töne, um eine eben merkliche Differenz *höher* vernimmt als das rechte Ohr. Man überzeugt sich von dem Vorhandenseyn dieser bekanntlich überaus verbreiteten und natürlich auch in umgekehrter Richtung vorkommenden Ungleichheit der beiden Ohren am Einfachsten und Sichersten, indem man von zwei gleichen oder nahezu gleichen Stimmgabeln, die eine (etwa durch ein Wachströpfchen oder ein auf die Zinke gestülptes und dann gehörig verschobenes, ganz kurzes Stückchen Kautschuschlauch) so weit verstimmt, daß beide, je eine vor ein Ohr gehalten, den genauen Einklang zeigen. Vertauscht man dann die beiden Gabeln, so wird die fragliche Differenz natürlich verdoppelt und eben dadurch, auch wo sie sehr mäßig war, um so leichter erkannt. Ist sie bedeutender, z. B. über ein Viertelton, was auch nicht selten vorkommt, so genügt es, einen klingenden Körper (eine Stimmgabel, ein Weinglas, usw.) in rascher Abwechslung bald vor das eine, bald vor das andere Ohr zu halten.

pizzicato-artiger Ton, der dem Laien in der Physiologie ungefähr wie ein Aus- oder Einstülpen des Trommelfells in Folge von Luftdruckdifferenzen vorkommt, — ohne daß ich behaupten will, er sey ein solches. Ich habe davon nur 7 Beispiele (sämmtlich aus dem April und Mai 1870) notirt; der Ton war in 4 derselben ein (etwas knappes) c^2 , in zweien ein h^1 und in einem zwischen h^1 und b^1 , so daß er nicht viel zu variiren scheint, und daher recht wohl durch die Dimensionen eines festen Körpers oder abgeschlossenen Luftraumes bedingt seyn könnte.

XIII. Ungewöhnliche Ozonbildung.

Läßt man Wasserstoff, aus einer *feinen* Metallspitze ausströmend, in atmosphärischer Luft mit einer *möglichst kleinen, etwa linsengroßen Flamme* brennen, so nimmt man deutlich den Geruch nach Ozon wahr. Stülpt man über die kleine Flamme einige Secunden lang ein kaltes und reines Becherglas, so riecht der Inhalt des Glases so stark nach Ozon, wie das Innere einer soeben entladenen Leydner Flasche. Wasserstoff, aus dem reinsten Zink und der reinsten Schwefelsäure bereitet, zur Vorsicht noch durch mehrere Reinigungs- und Trockenapparate geleitet, hindert nicht bloß nicht, sondern verstärkt noch das Auftreten des Ozongeruchs. Auch spielt hiebei der Stickstoff keine Rolle, denn beim Verbrennen des Wasserstoffs in reinem Sauerstoff, in einem eigens dazu construirten Apparat, tritt dasselbe Phänomen auf (Dr. Pincus, *Agriculturchemische und chem. Untersuch. und Versuche der usw. Versuchsstation zu Insterburg*, Bericht V, Gumbinnen 1867).